

Diseño de programas de restitución: Comprender la especie

Restitución genética de poblaciones

Master Oficial en Restauración de Ecosistemas

José M. Iriondo

Depto. Biología y Geología

Universidad Rey Juan Carlos





Elementos de diseño

Programa de restitución:

1. **Comprender** en profundidad el funcionamiento de la especie, su rango ecológico y sus limitaciones.
2. Planteamiento de **objetivos** y medida del éxito
3. Diseño y ejecución del programa
 - Seleccionar adecuadamente el hábitat de destino. **¿Dónde?**
 - Introducir poblaciones que se asemejen a las poblaciones naturales viables en su tamaño y estructuración genética, etaria, espacial y sexual. **¿Cuántos? ¿Cuáles?**
 - Ejecución de la actuación **¿Cómo?**
Seguimiento.



1. Comprender la especie

Conocer la estructura y dinámica de sus poblaciones

- ¿Cuántas poblaciones hay?
- ¿Dónde están?
- ¿Qué tamaño y estructura presentan?
- ¿Cómo interaccionan con el medio ambiente?
- ¿Qué factores limitan su viabilidad?
- ¿Qué etapas del ciclo vital son más vulnerables?

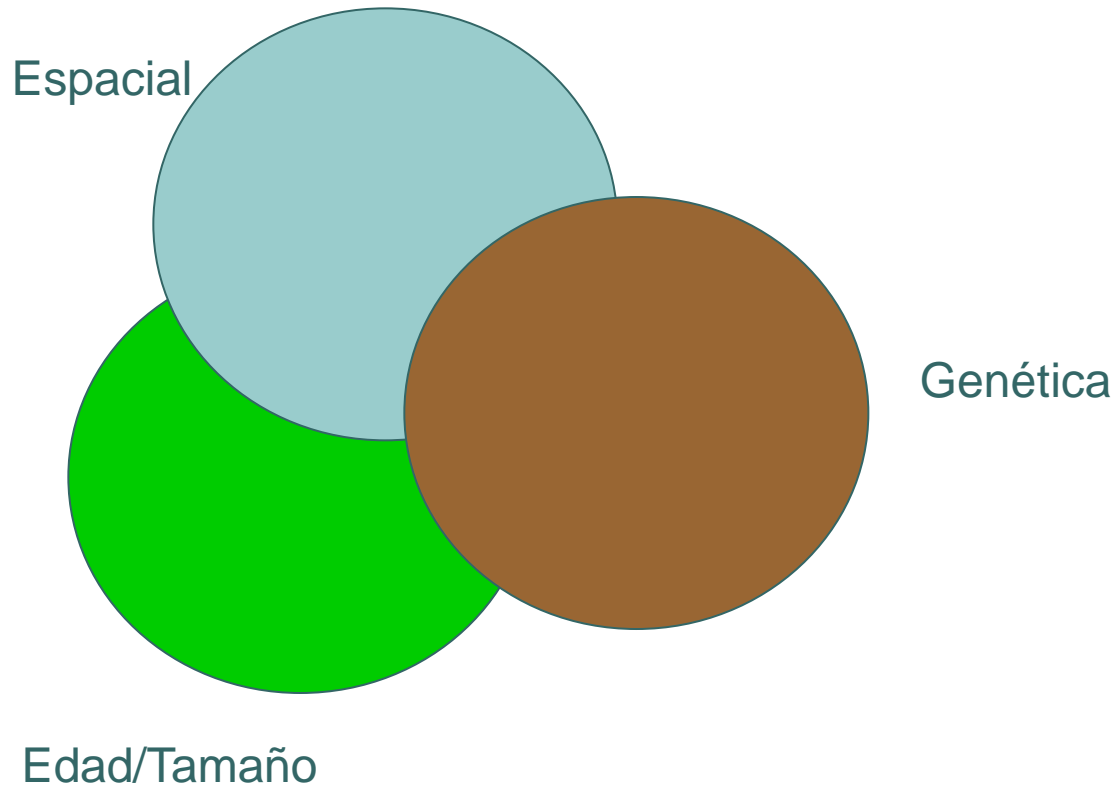


Estructura poblacional

- Refleja la diversidad y la distribución de los individuos de una población con relación a un determinado **criterio** en un momento dado.
- Es el reflejo de un estado de la población en un determinado momento.

Estructura poblacional

- o Dependiendo de los criterios:





Dinámica poblacional

- **Objetivo:** Estudiar y modelizar la evolución de las poblaciones a través del tiempo para adquirir poder predictivo y utilizarlo como herramienta de toma de decisiones.



Dinámica poblacional

- El éxito de una restitución depende esencialmente del mantenimiento de una población viable a lo largo del tiempo



Viabilidad de poblaciones

$$V_i = f(B_i, D_i, N_i)$$

B_i : nacimientos

D_i : muertes



Viabilidad de poblaciones

- Cambios en el tamaño poblacional

Nacimientos
(B)

Muertes
(D)

Immigración
(I)

Emigración
(E)



Cambios en el tamaño poblacional

- Causas:

- Nacimientos (B)
- Muertes (D)
- Inmigración (I)
- Emigración (E)

- $N(t+1) = N(t) + B - D + I - E$



Modelos de crecimiento poblacional

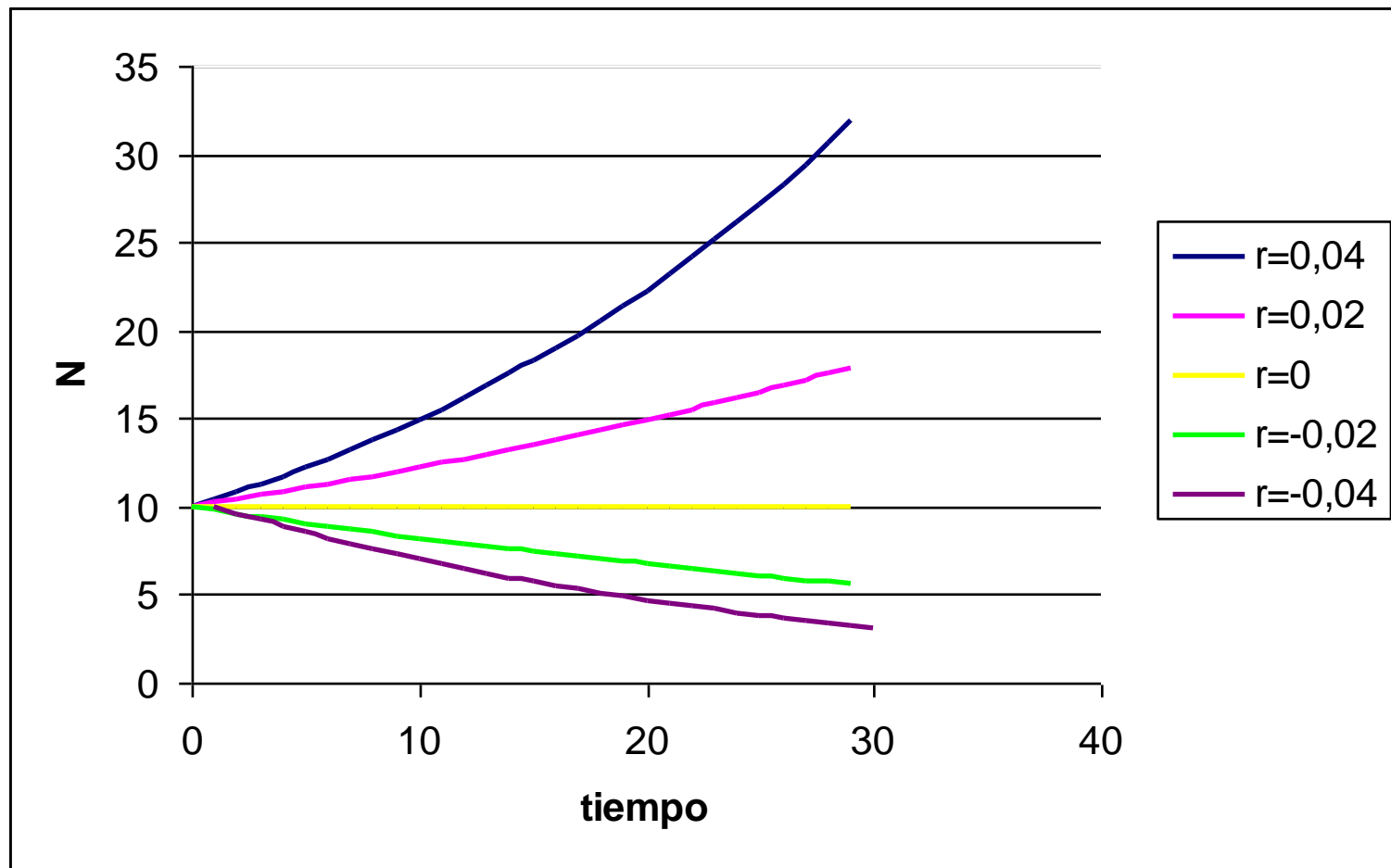
- Crecimiento exponencial
- Crecimiento geométrico
- Crecimiento logístico
- Crecimiento poblacional estructurado en edad/tamaño



Crecimiento exponencial

- $I = E = 0$
- $\Delta N = B - D$
- Crecimiento continuo
- $\delta N / \delta t = B - D$; $B = b N$; $D = d N$
- $\delta N / \delta t = (b - d) N = r N$
- r = tasa intrínseca de crecimiento (crecimiento de la población por individuo y unidad de tiempo)
- $N_t = N_0 e^{rt}$

Crecimiento exponencial

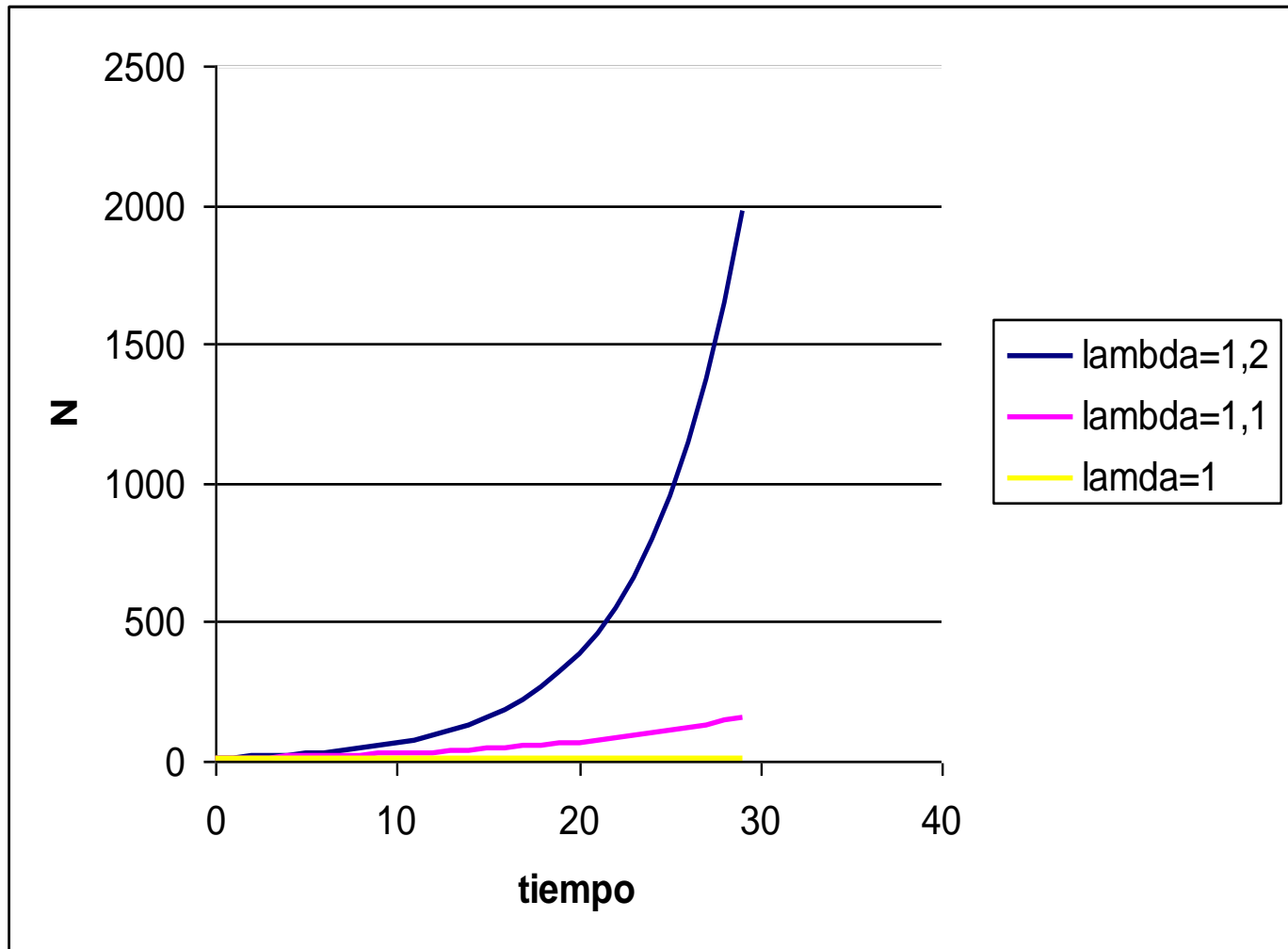




Crecimiento geométrico

- $\Delta N = B - D$
- Eventos de reproducción y muerte discretos
- $\Delta N = (b - d)N_t = r_d N_t$
- $r_d = b - d$
- $N_{t+1} = N_t + \Delta N = N_t + r_d N_t = (1 + r_d) N_t$
- $\lambda = 1 + r_d$
- $N(t+1)/N(t) = \lambda$ (tasa finita de crecimiento)
- $N_t = \lambda^t N_0$
- $e^{rt} = \lambda^t \rightarrow \lambda = e^r, \Delta t \rightarrow 0$

Crecimiento geométrico

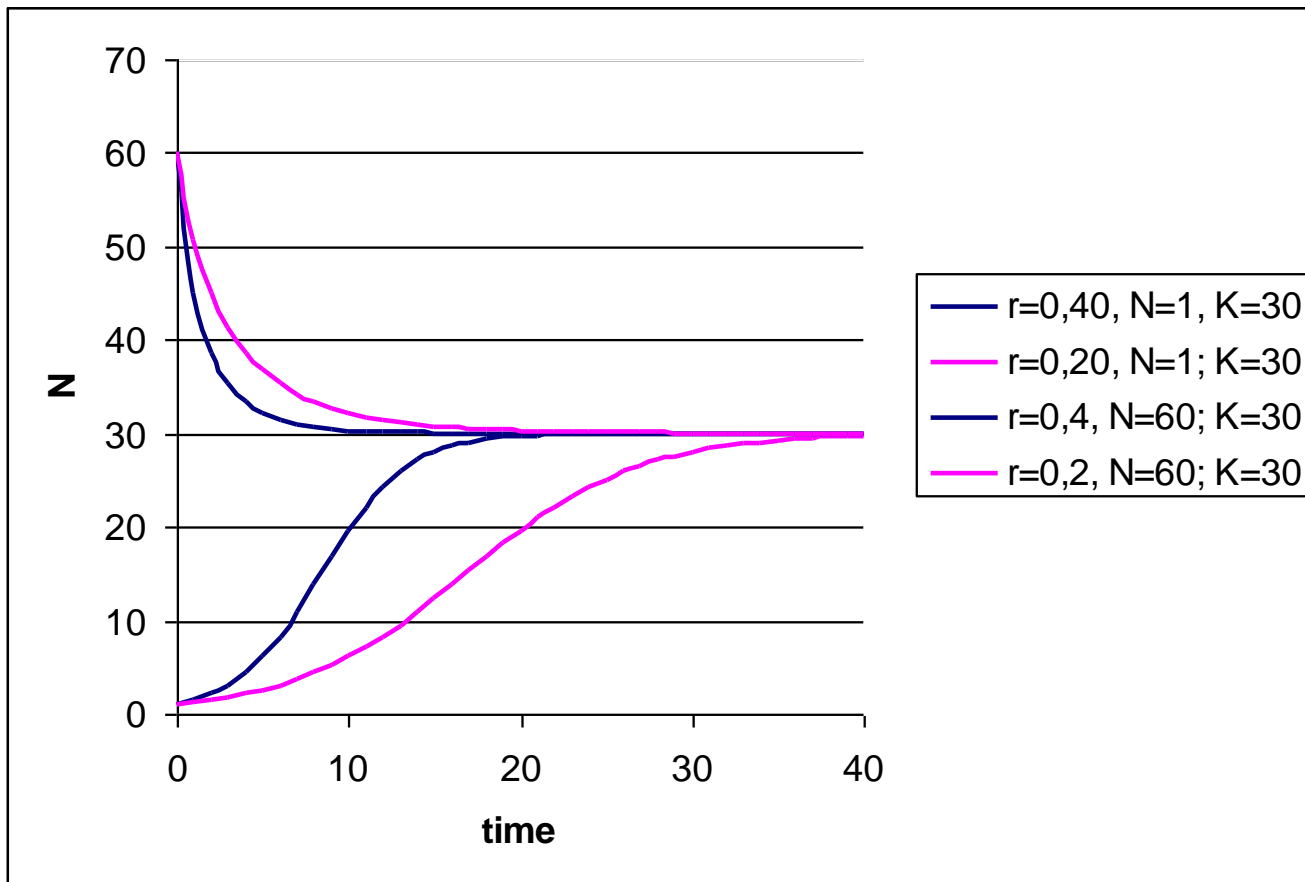




Crecimiento logístico

- Recursos limitados, b' y d' dependen de N
- $\delta N/\delta t = (b' - d') N$
- $b' = b - aN$; $d' = d + cN$
- $\delta N/\delta t = ((b - aN) - (d + cN)) N$
- $\delta N/\delta t = r N (1 - ((a+c)/(b-d))N)$
- $K = (b-d)/(a+c)$; K : capacidad de carga
- $\delta N/\delta t = r N (1 - N/K)$

Crecimiento logístico



Número de individuos

- ◆ Censos totales



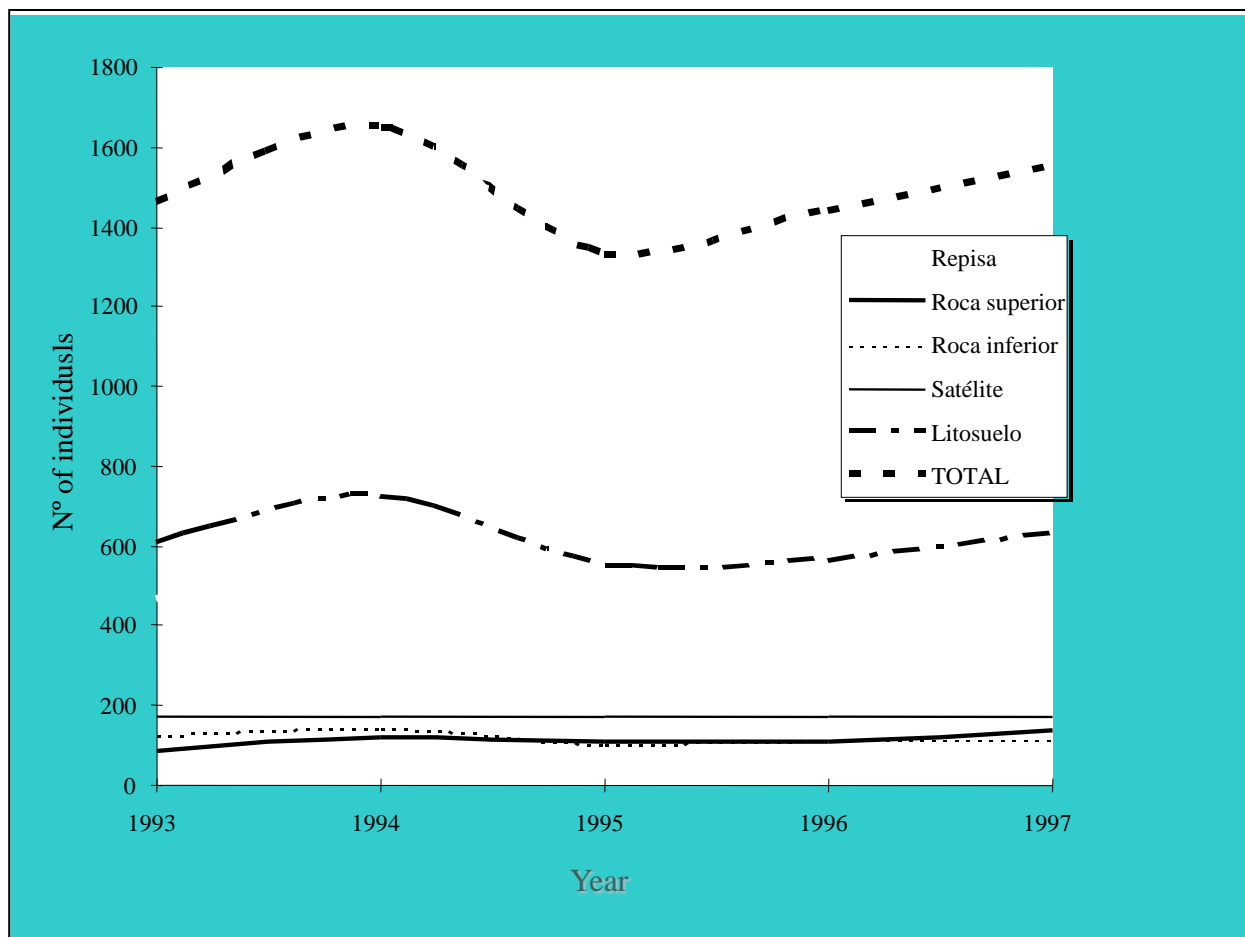
Número de individuos

- ♦ Muestreo al azar en parcelas
 - ♦ Forma rectangular en patrones agregados
 - ♦ Número y tamaño de la parcela: muestreo piloto



Número de individuos

Tendencias

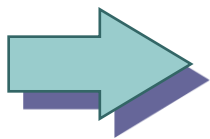
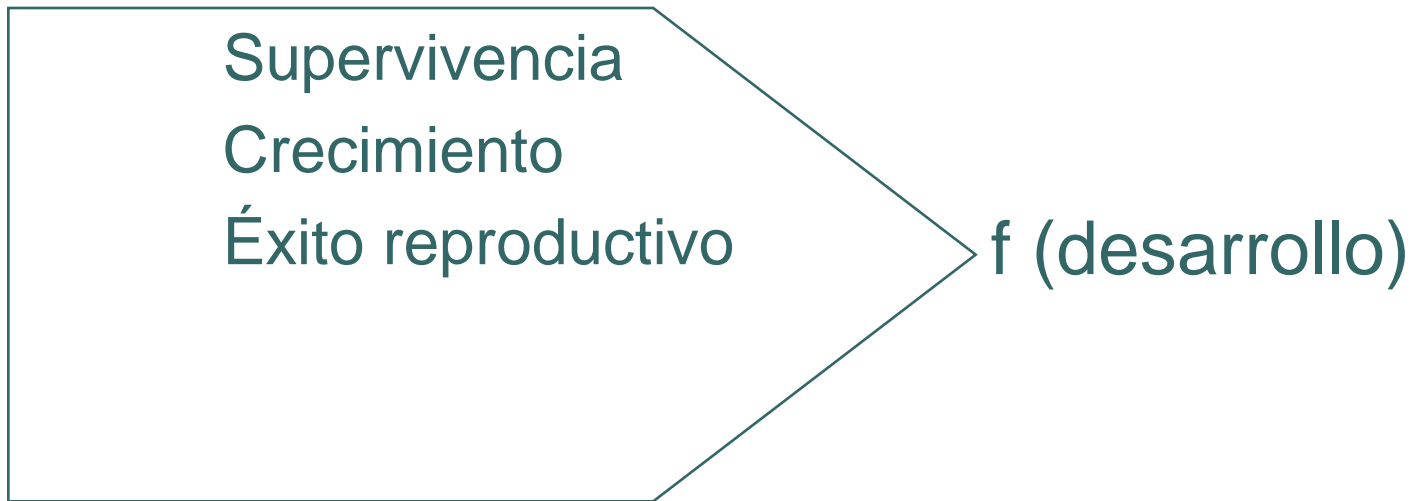


Erodium paularense

Medidas de actuación y planes de recuperación. J.M. Iriondo - Universidad Rey Juan Carlos



Estructura en clases

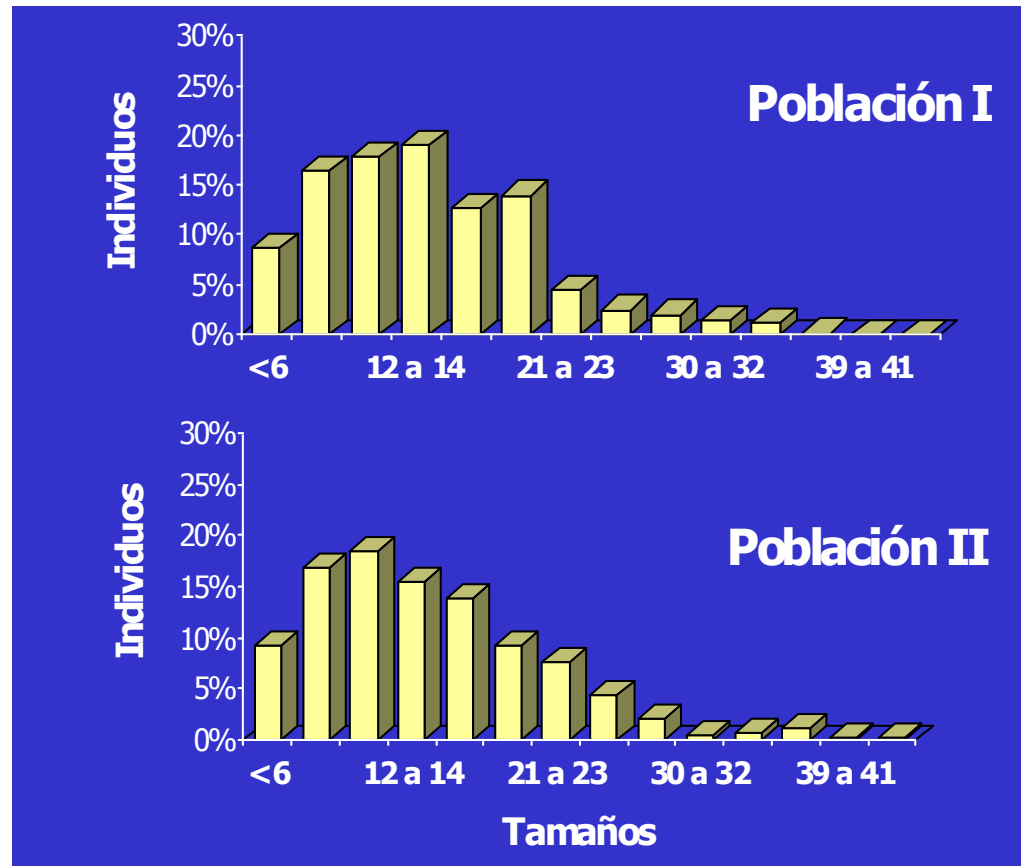


Estructura en clases

Estructura en clases



Estructura en clases





Estructura en clases

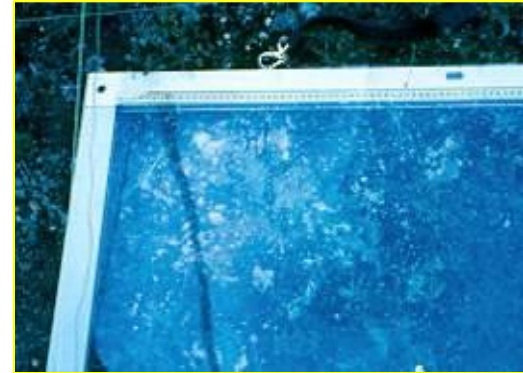
- ¿Qué clases? ¿Cuántas clases?
 - Tasas vitales homogéneas dentro de cada clase
 - Clases con significado biológico
 - Maximizar diferencias entre clases



Supervivencia y desarrollo

- Vivo/muerto
- Evolución del tamaño de la planta a lo largo del tiempo
- Población completa
- Parcela de muestreo
 - Una o varias parcelas de muestreo
 - Tamaño de la parcela

Supervivencia y desarrollo



Respuesta reproductiva



Respuesta reproductiva

Antirrhinum microphyllum:

Población	Flores/pl	Frutos/pl	Semillas/pl
Bolarque	51	46	9287
Entrepeñas	56	47	9391



Atlas de Flora Amenazada

Manual de Metodología

Coordinador
J. M.ª Iriondo

Autores
M.ª J. Albert, Á. Bañares, A. Escudero,
J. M.ª Iriondo, M. de la Cruz, F. Domínguez,
M.ª B. García, M. Marrero, J. C. Moreno,
H. Sainz & E. Torres



Proyecto Atlas Flora Amenazada

- 36 grupos de trabajo
- estudio básico: >500 taxa
- estudio detallado: 37 taxa



Estudio básico

“Esqueleto” del proyecto AFA

Todos los taxones

Todas las poblaciones

- Corología
- Censo
- Características ambientales
- Análisis de amenazas

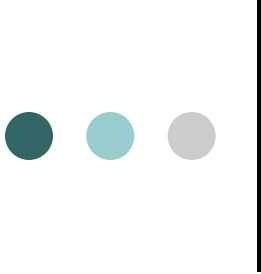


Estudio detallado

- Complementa al estudio básico
- Estructura y dinámica de las poblaciones del taxon
- Evaluación y diagnóstico de las poblaciones

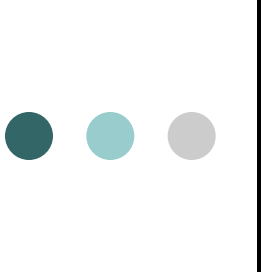
En taxones seleccionados

En todas las poblaciones (al menos 3)



Análisis de viabilidad poblacional (PVA)

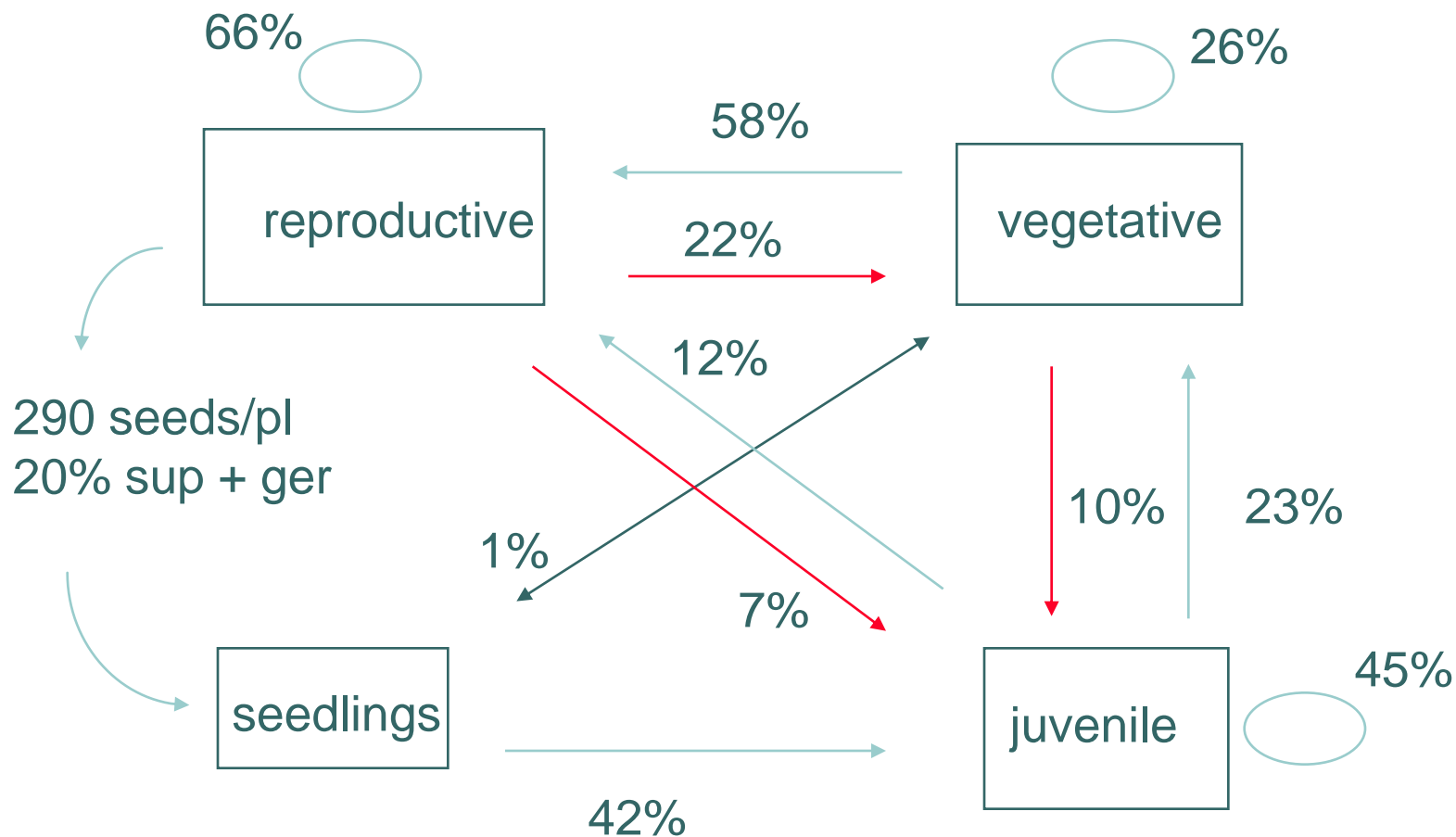
- Evaluación de los efectos demográficos de diferentes prácticas de gestión o amenazas sobre una o varias poblaciones a través de modelos que los proyectan hacia el futuro.



Crecimiento poblacional estructurado por edades o clases

- Poblaciones estructuradas
- Crecimiento discreto
- Crecimiento logístico

Ciclo vital



(*Pedicularis furbishiae*, Menges, 1986)

Medidas de actuación y planes de recuperación. J.M. Iriondo - Universidad Rey Juan Carlos

Matriz de transición

DE:

A:

	Seedling	Juvenile	Vegetative	Reproduct
Seedling	0	0	0	290 x 0.2
Juvenile	0.42	0.45	0.10	0.07
Vegetative	0.01	0.23	0.26	0.22
Reproduct	0	0.12	0.58	0.66



Matriz de estructura poblacional

75	seedling
19	juvenile
3	vegetative
3	reproductive

Proyección hacia el futuro

Matriz de transición

Estr. pob.
 $t(n)$

Estr. pob.
 $t(n+1)$

$$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 & 58.0 \\ 0.42 & 0.45 & 0.10 & 0.07 \\ 0.01 & 0.23 & 0.26 & 0.22 \\ 0.00 & 0.12 & 0.58 & 0.66 \end{bmatrix}$$

X

$$\begin{bmatrix} 75 \\ 19 \\ 3 \\ 3 \end{bmatrix}$$

=

$$\begin{bmatrix} 174 \\ 41 \\ 7 \\ 6 \end{bmatrix}$$

Modelo determinista

Población

1000000

100000

10000

1000

100

10

1

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

años

Tasa finita de crecimiento (λ)



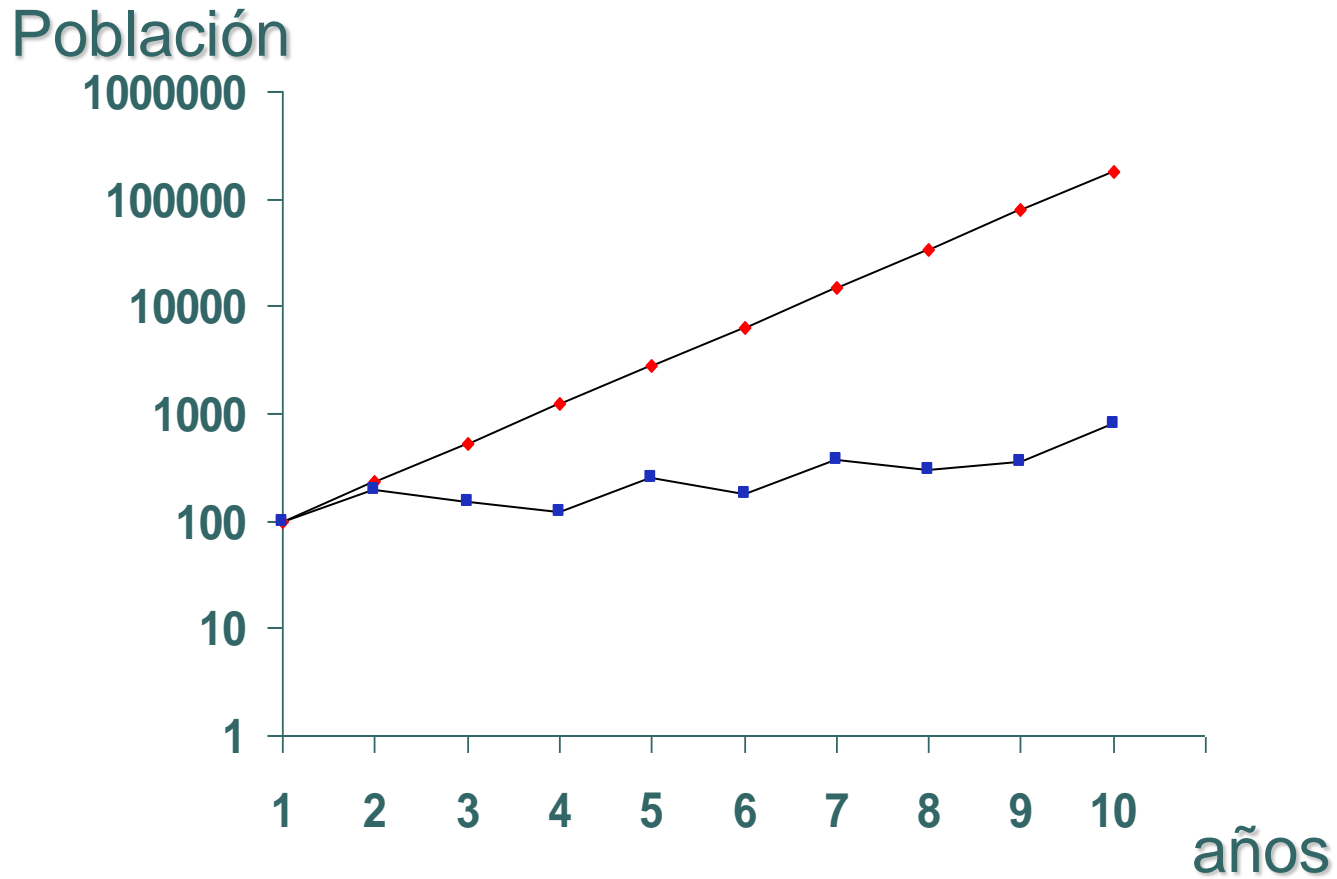
Estocasticidad

- La cualidad de carecer de un orden o plan predecible. Componente impredecible.
 - Estocasticidad ambiental
 - Estocasticidad demográfica

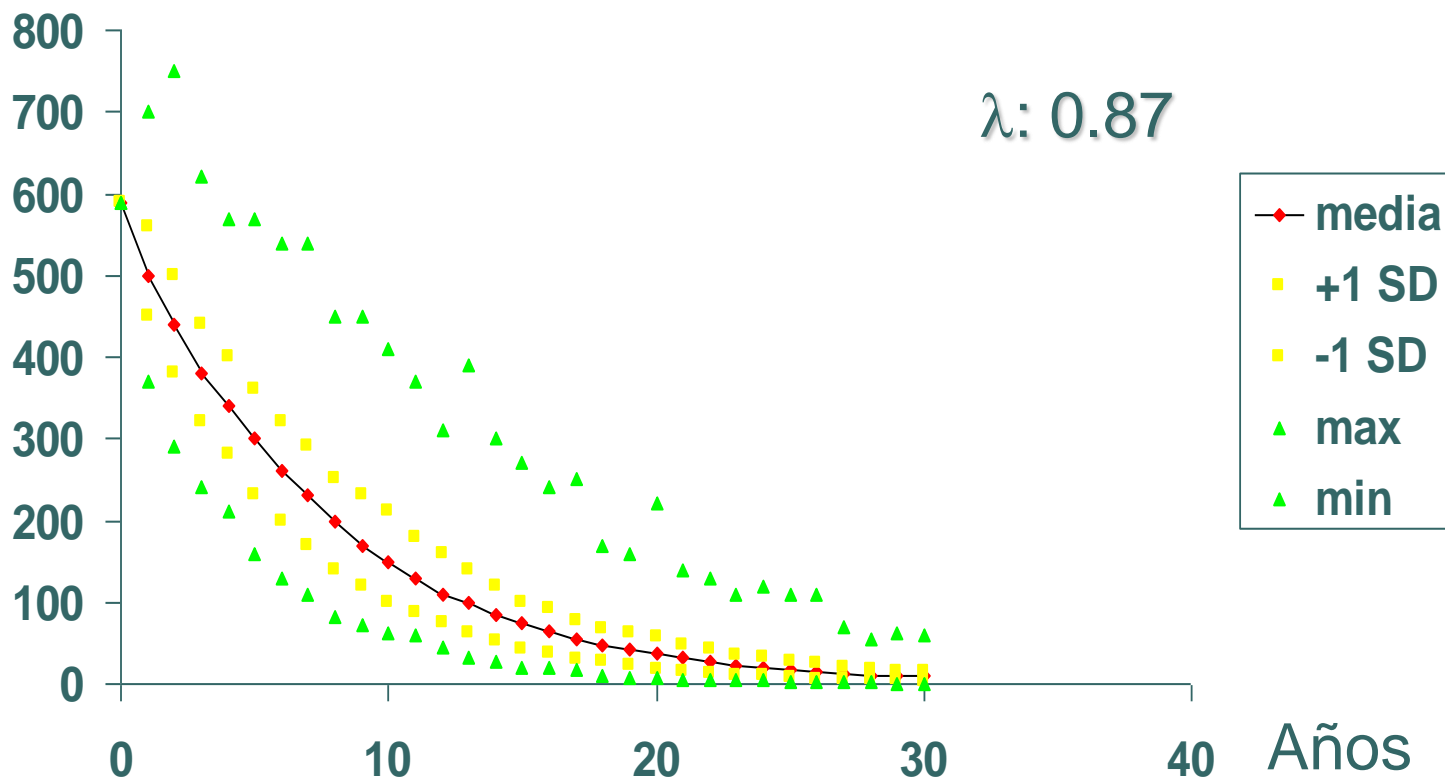
Modelo estocástico

$0.00 \pm e_{11}$	$0.00 \pm e_{12}$	$0.00 \pm e_{13}$	$58.0 \pm e_{14}$
$0.42 \pm e_{21}$	$0.45 \pm e_{22}$	$0.10 \pm e_{23}$	$0.07 \pm e_{24}$
$0.01 \pm e_{31}$	$0.23 \pm e_{32}$	$0.26 \pm e_{33}$	$0.22 \pm e_{34}$
$0.00 \pm e_{41}$	$0.12 \pm e_{42}$	$0.58 \pm e_{43}$	$0.66 \pm e_{44}$

Modelo estocástico

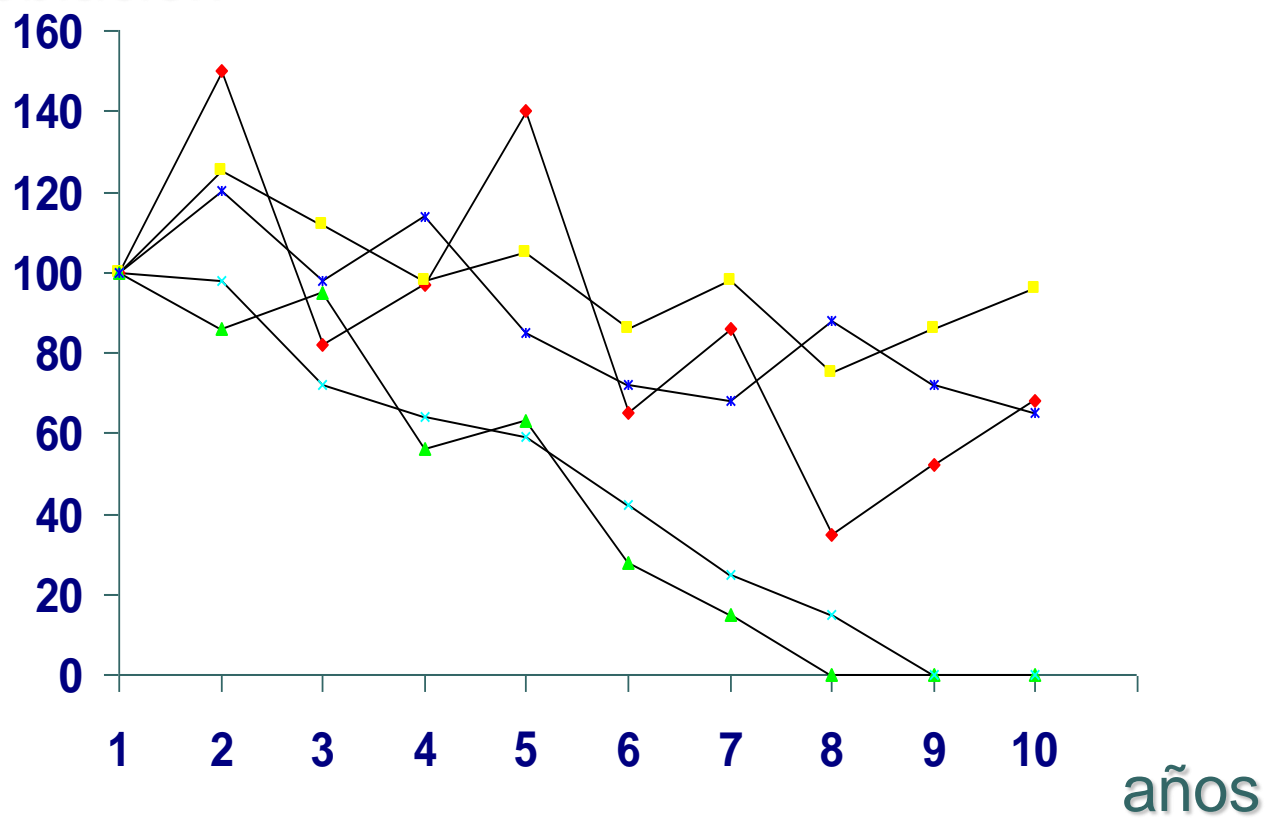


Modelo estocástico

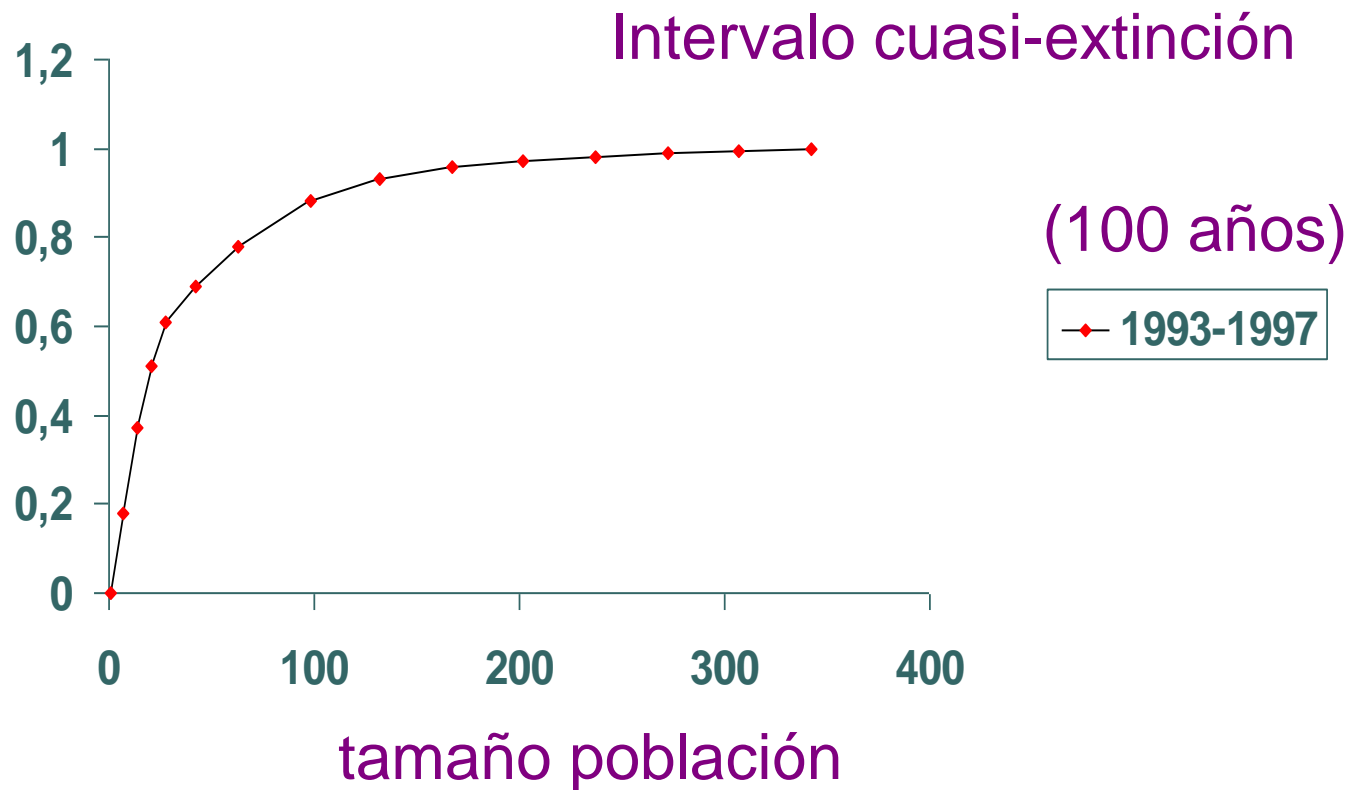


Probabilidad de extinción

Población



Probabilidad de extinción





Análisis de elasticidad

- ♦ Medida del cambio proporcional que experimenta “ λ ” debido a un cambio proporcional en un parámetro demográfico

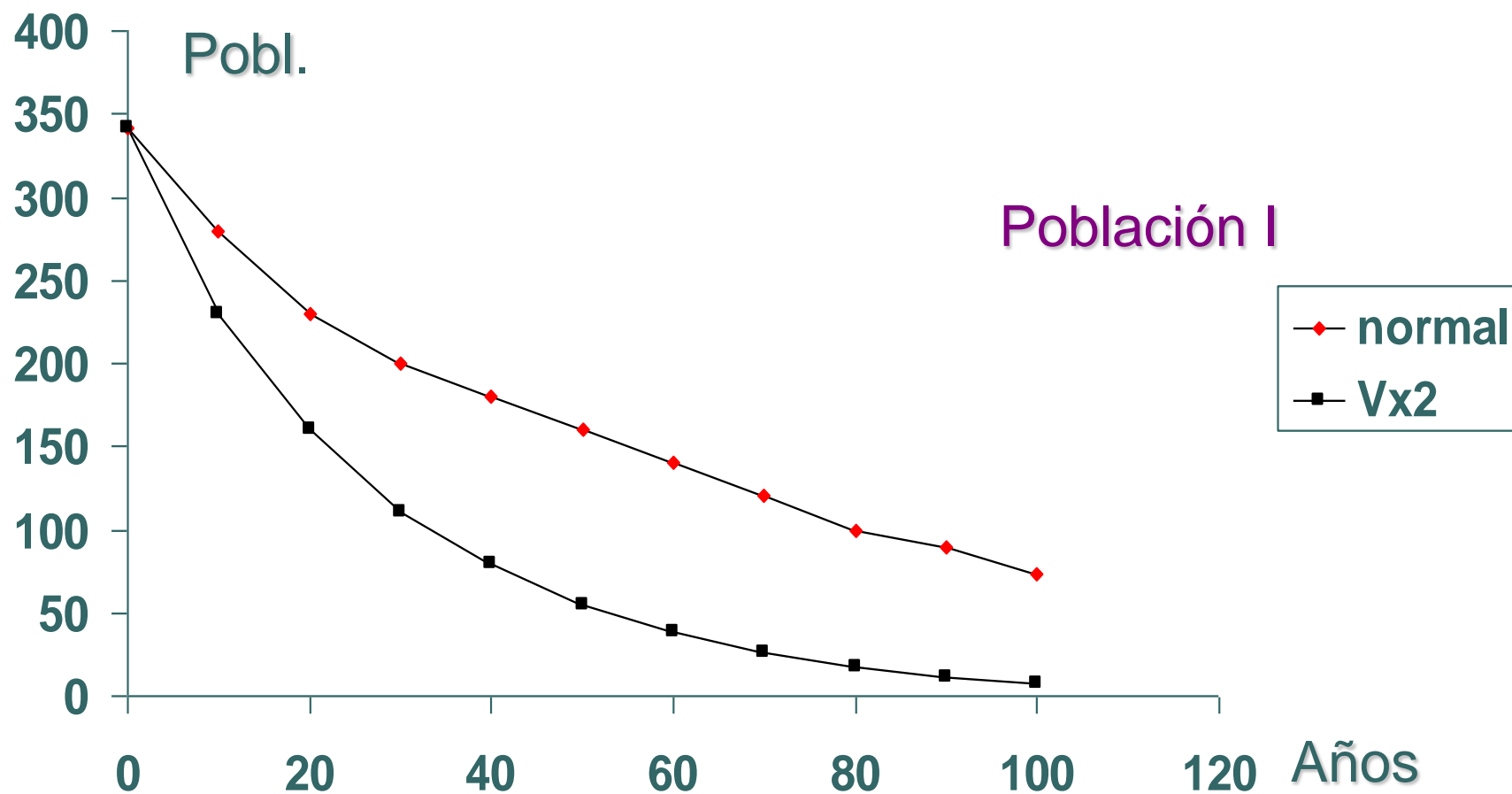
$$E = (\Delta\lambda/\lambda) / (\Delta p/p)$$

Análisis de elasticidad

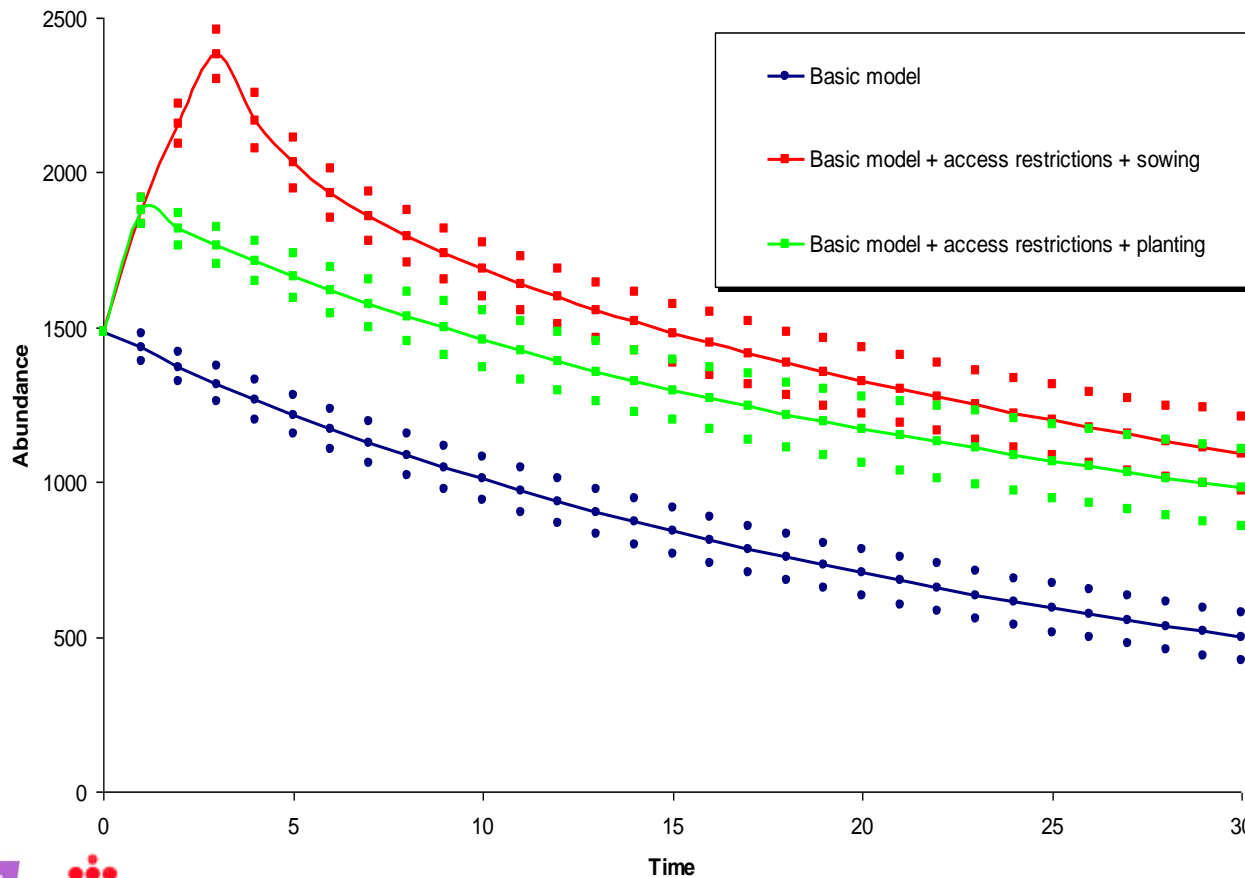
Matriz de elasticidades

		<i>de:</i>			
		I	II	III	IV
a:	I	0.012	0.008	0.009	0.012
	II	0.030	0.144	0.047	0.000
	III	0.000	0.069	0.306	0.054
	IV	0.000	0.000	0.067	0.241

Análisis de sensibilidad



Análisis de sensibilidad





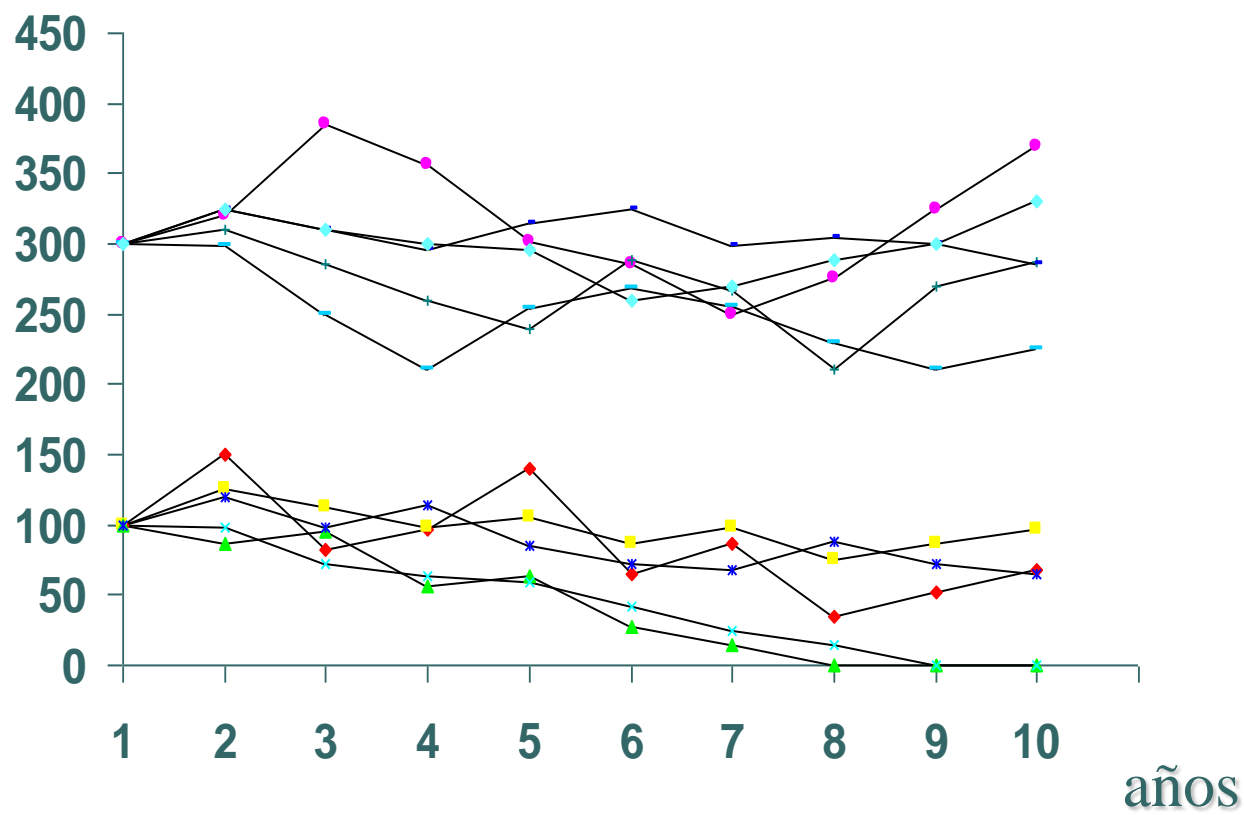
Población mínima viable

“ Aquella que tiene un 99% de probabilidad de supervivencia durante un período de 1000 años a pesar de los efectos de la estocasticidad demográfica, ambiental y genética, y de las catástrofes naturales.”

(Schaffer, 1981)

Número mínimo de individuos a establecer en una población para que la reintroducción tenga garantías de éxito

Población mínima viable

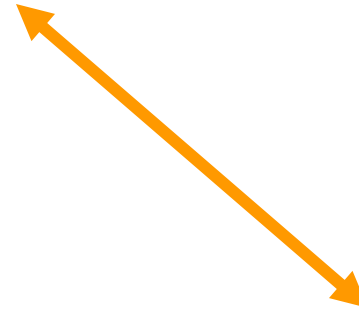
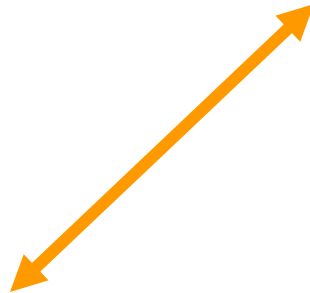




Modelos demográficos



Simulación



Análisis de sensibilidad



Análisis de elasticidad



Elementos de diseño

Medidas de actuación y planes de recuperación. J.M. Iriondo - Universidad Rey Juan Carlos



Tasas vitales

Supervivencia:

Desarrollo:

Exito reproductivo:

f (constitución genética, condicionantes ambientales)



Estructura genética

- Operaciones de restitución están asociadas a bajos efectivos poblacionales:
 - Pérdida de diversidad genética
 - Menos individuos, menos diversidad genética
 - Por deriva genética
 - Por endogamia



Estructura genética

- La reducción de la diversidad genética puede ocasionar una reducción en la fitness de los individuos de la población.
- **Tamaño efectivo de una población (N_e):** el número de individuos que proporcionaría valores semejantes de pérdida de heterocigosidad, endogamia o varianza en las frecuencias alélicas si los individuos se comportaran como una población “ideal”.
- Por término medio $N_e/N = 0,10$



Estructura genética

- Factores que afectan a N_e :
 - Proporción de sexos desigual
 - 1 macho y 100 hembras: $N_e = 4$
 - $N_e = 4N_{ef} \cdot N_{em} / (N_{ef} + N_{em})$
 - Variación en el tamaño de las familias
 - Fluctuaciones en el tamaño de la población
 - Parecido al N_e del año con tamaño inferior
 - $N_e = t / \sum (1/N_{ei})$



Estructura genética

- Población mínima viable (perspectiva genética)
- Numeros “mágicos”:
 - $N_e > 50$; $N > 500$ para evitar depresión endogámica
 - Franklin (1980), Soulé (1980)
 - $N_e > 500-5000$; $N > 5000-50.000$ para mantener el potencial evolutivo
 - Franklin (1980), Lande & Barrowclough (1987)
 - Bases experimentales:
 - Mejoradores animales (Franklin, 1980; Soulé, 1980)
 - Mamíferos en cautividad (Ralls et al., 1988)
 - Moscas del vinagre (Latter et al., 1995)

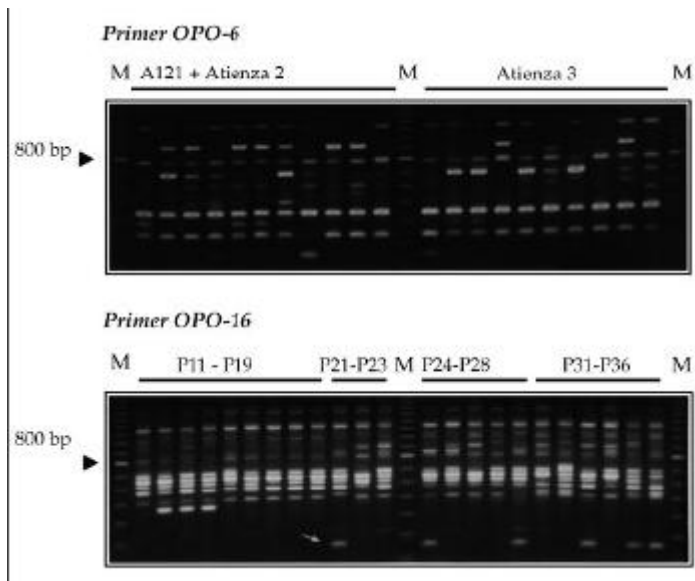
Estructura genética

- ◆ Isoenzimas
- ◆ RAPDs
- ◆ ISSRs
- ◆ AFLPs
- ◆ SSRs



Estructura genética

- Diversidad genética:
 - genes de importancia adaptativa.
 - genes “neutrales” o incluso secuencias no codificantes (isoenzimas, RAPDs, RFLPs, AFLPs, microsatélites).





Estructura genética

- ¿Qué tipo de diversidad genética estamos midiendo?
 - Isoenzimas, RAPDs, AFLPs, ISSRs, SSRs: marcadores neutrales
 - No es diversidad genética asociada a genes con valor adaptativo (Storfer, 1996; Bekessy et al., 2003)
 - La correlación puede ser baja (Pefender et al., 2000; Bekessy et al., 2003).
 - Precaución a la hora de obtener conclusiones



Estructura genética

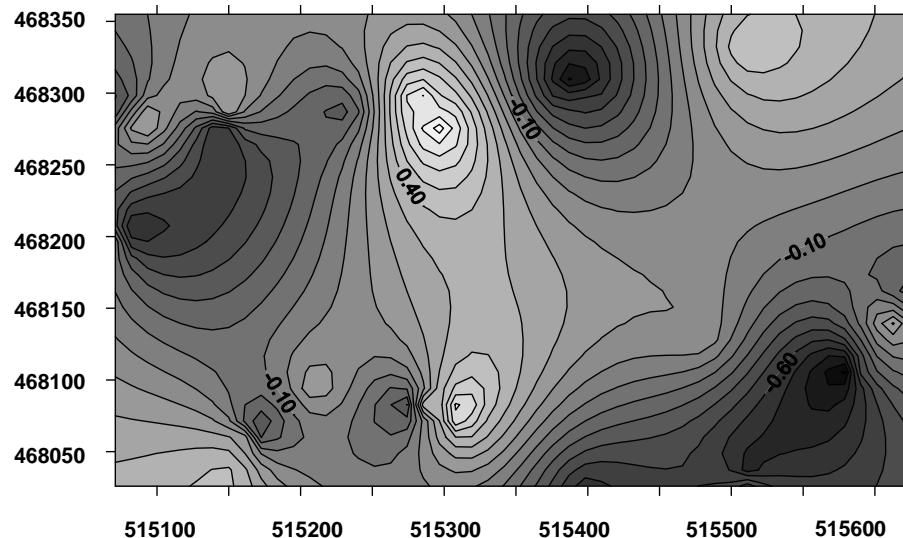
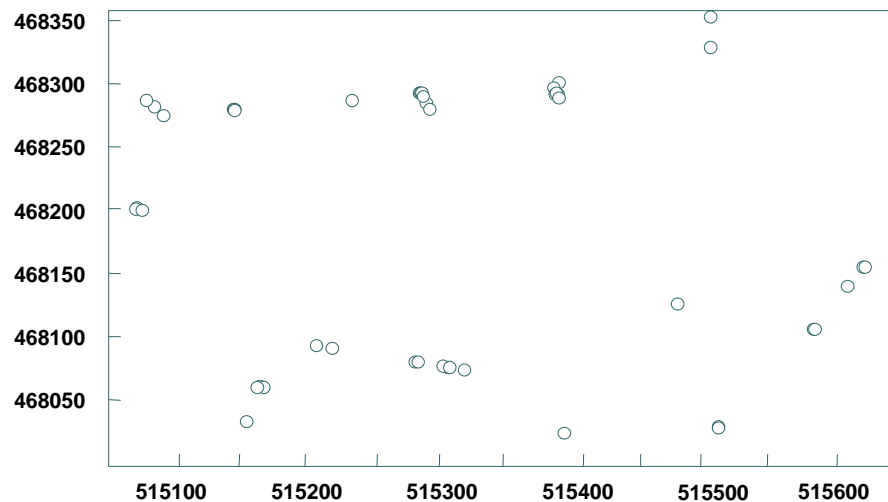
- El sistema de cruzamiento afecta a la estructura genética de las poblaciones:
 - **Plantas autóгамas** (autofecundación): individuos **homocigotos**.
 - **Plantas alógamas** (fecundación cruzada): individuos **heterocigotos**.
- ¿Qué tipo de plantas es más sensible desde un punto de vista genético a las intervenciones de reintroducción?

Estructura genética

Estructura genética
espacial

Coordenadas geográficas
de los individuos

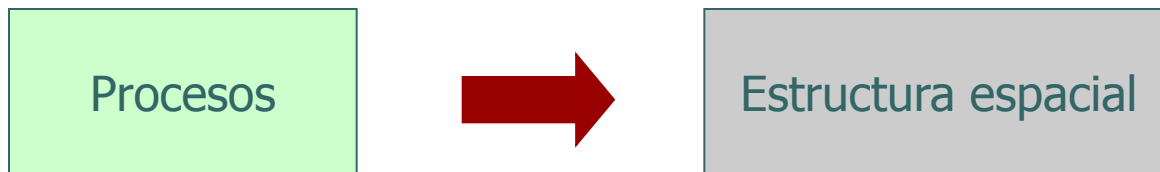
Modelo de la variable
genética consenso





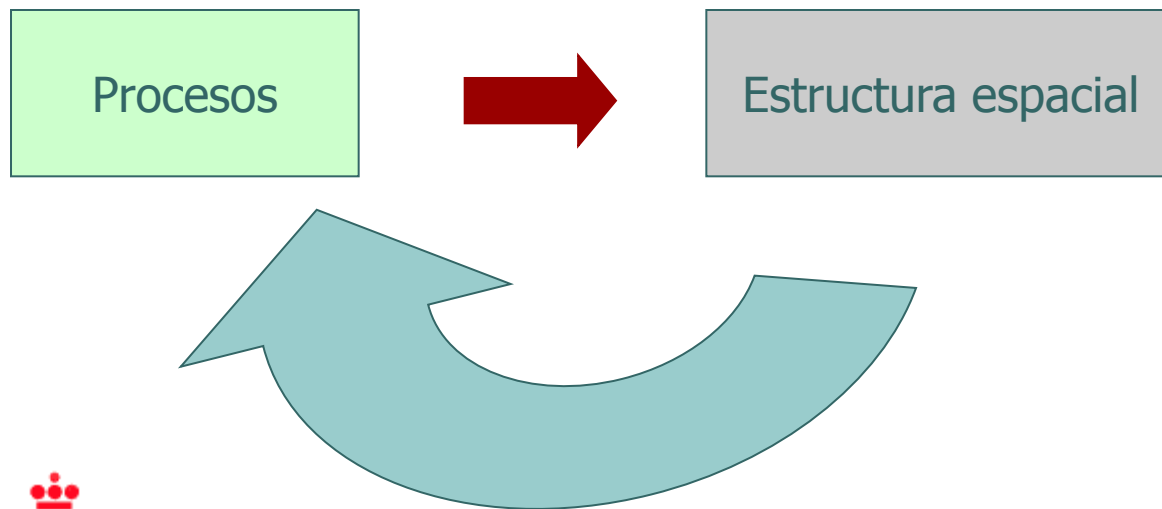
Estructura espacial

- La disposición espacial de las plantas en una población es el resultado de una combinación de procesos pasados y presentes que operan a diferentes escalas



Estructura espacial

- El estudio de la estructura espacial permite generar hipótesis sobre los procesos que operan en la población (Dale, 1999)





Estructura espacial

- Procesos:

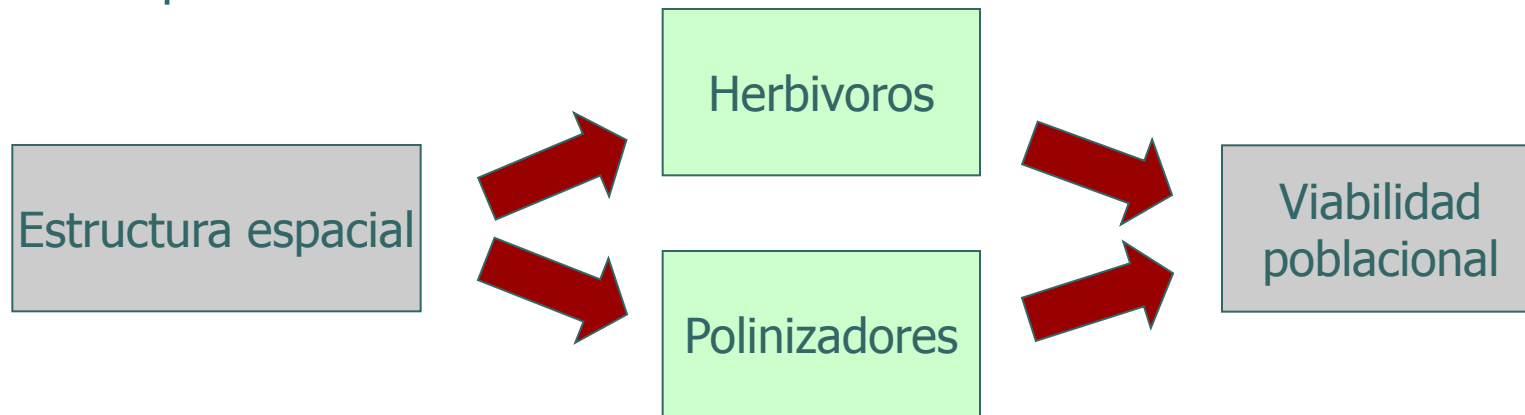
- Tamaño y patrón de crecimiento
- Dispersión
- Factores ambientales
- Interacciones de competencia y facilitación



Estructura espacial

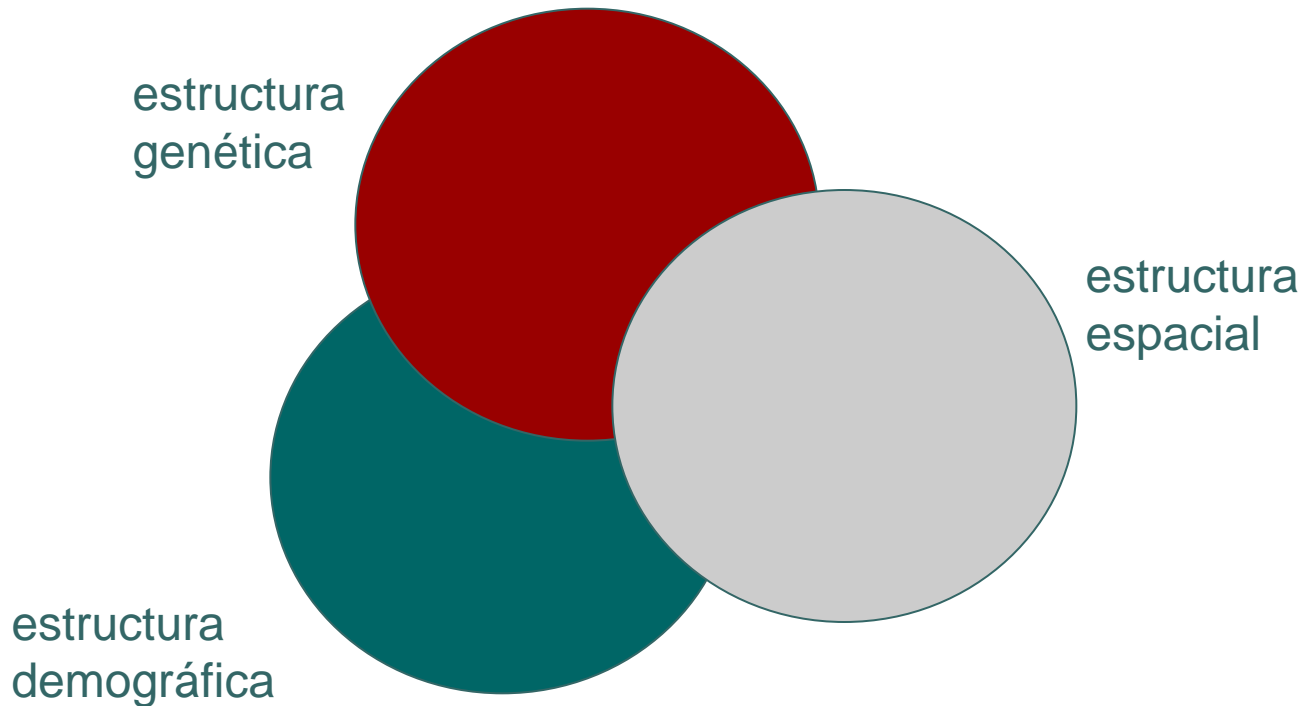
Estructura espacial

- La disposición espacial de las plantas en una población afecta a los patrones de incidencia de herbívoros (Bach, 1988) y polinizadores (Sowig, 1989), que a su vez condicionan la viabilidad de la población.



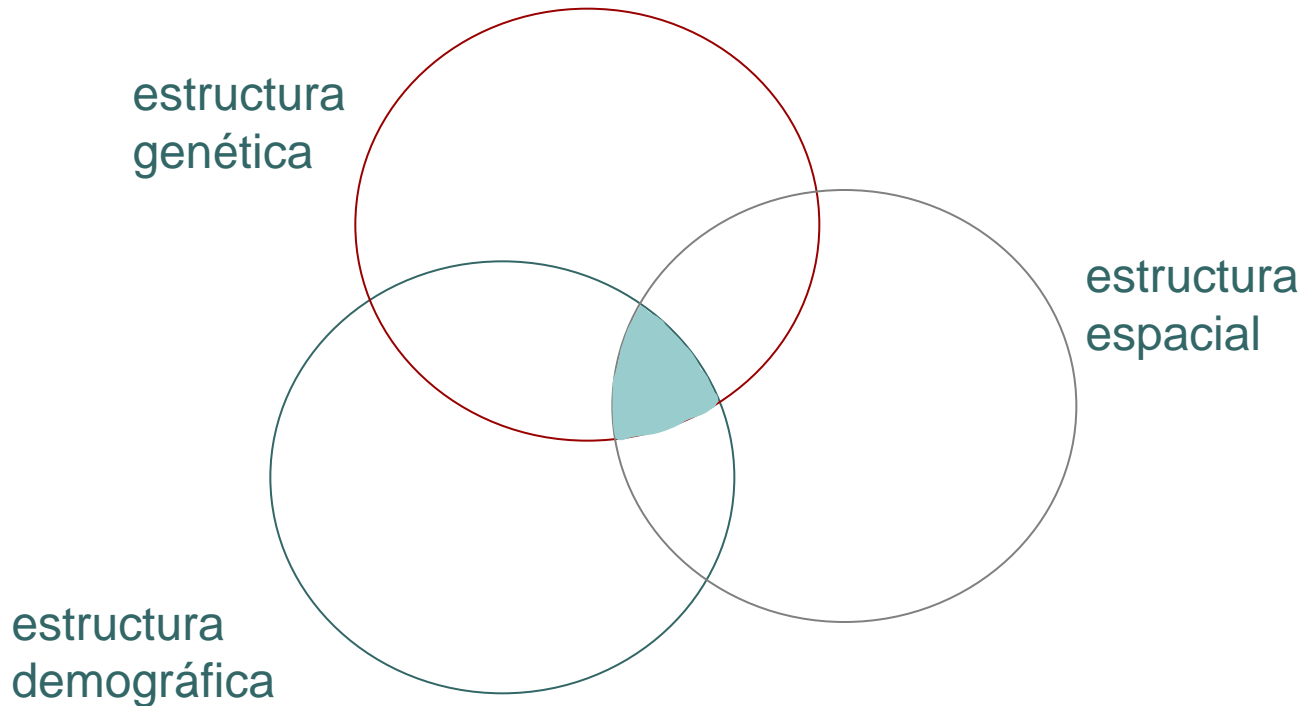
Estructura espacial

- Complementa otros estudios básicos

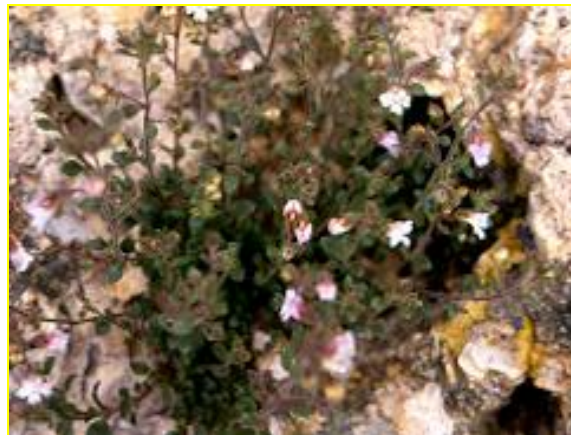


Estructura espacial

- Sinergia con otros estudios básicos



Factores ambientales



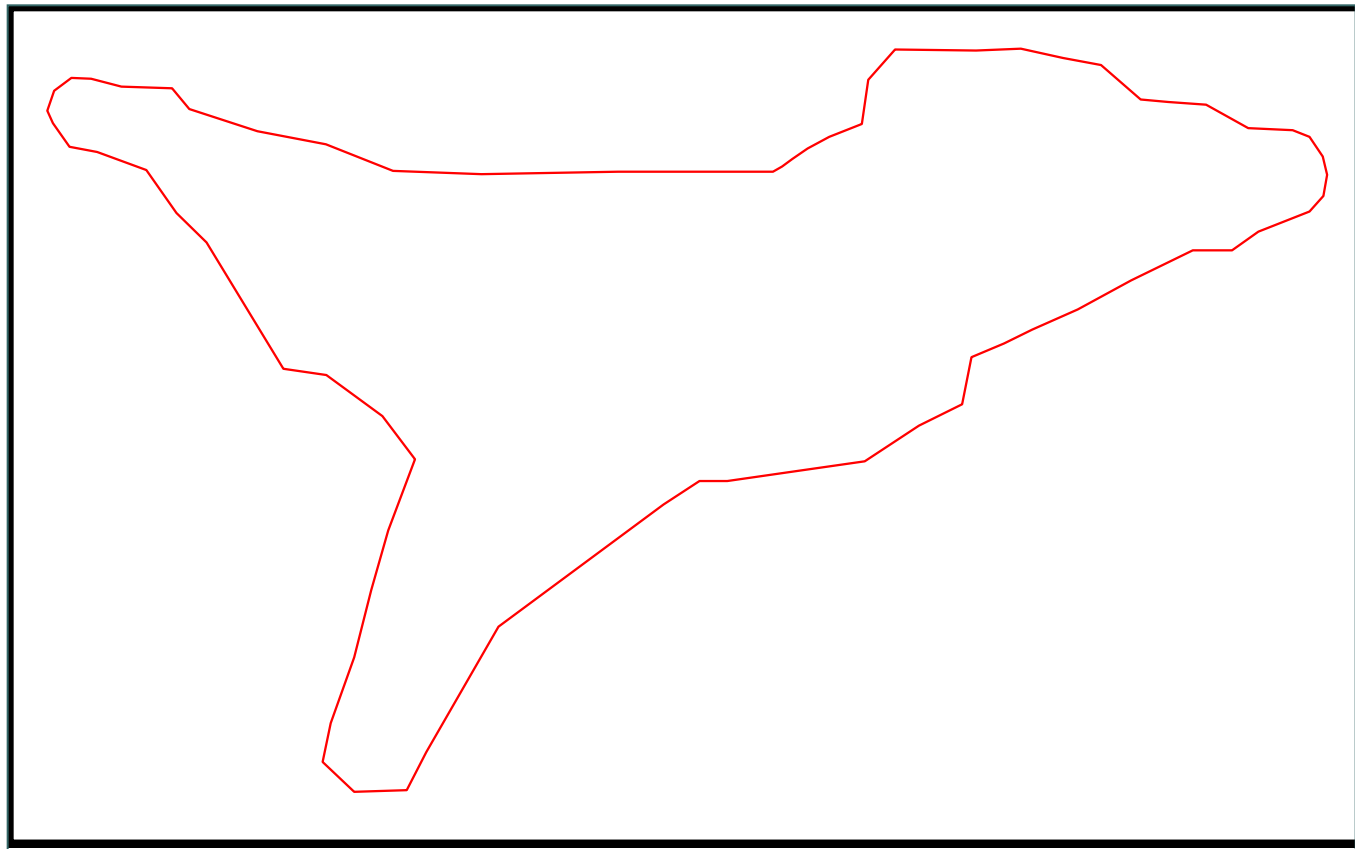
Factores ambientales

Modelos de adecuabilidad del hábitat

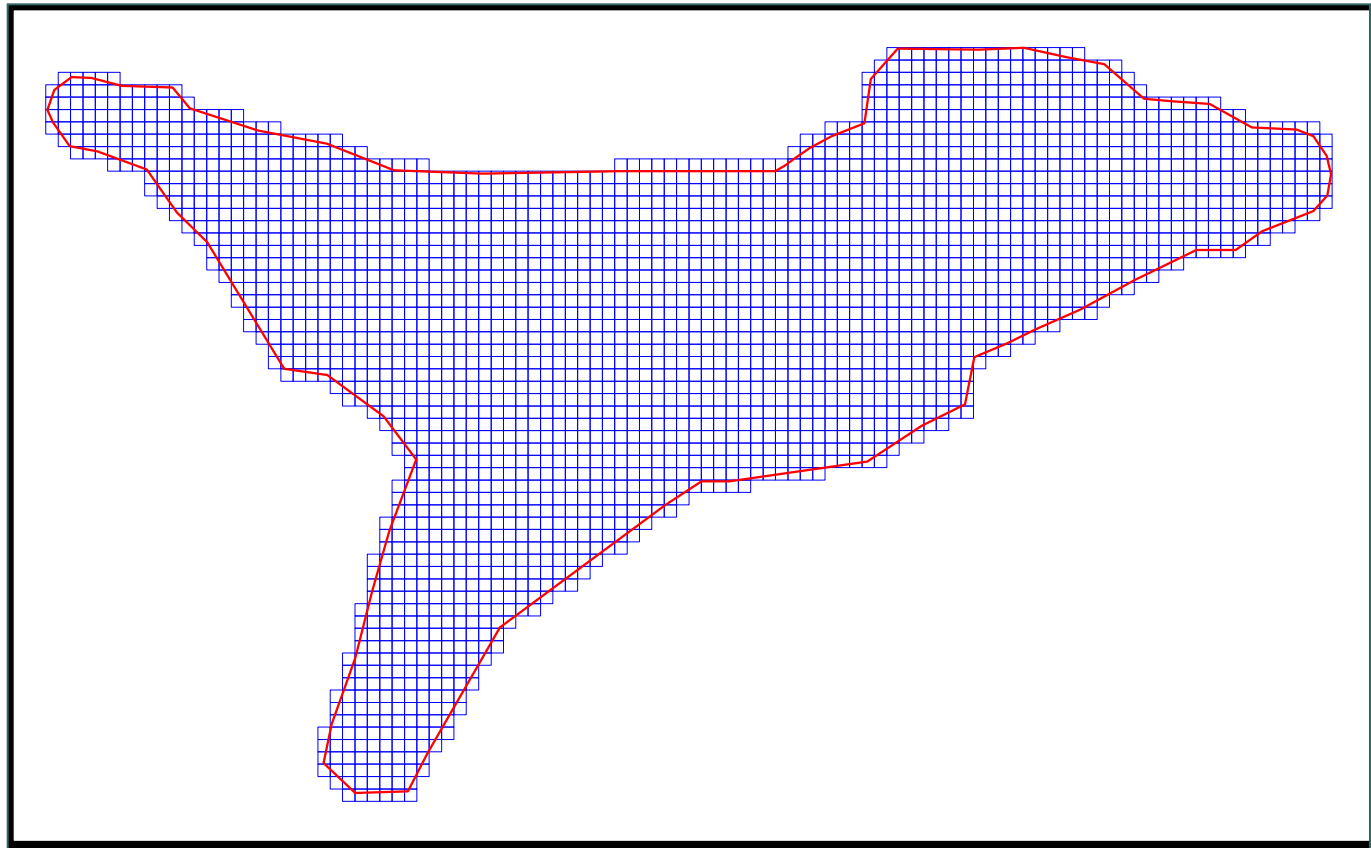
- *Erodium paularense*
 - crece sobre roca y suelos poco profundos
 - competencia intra e interespecífica
 - predación de semillas por hormigas (*Messor capitatus*)



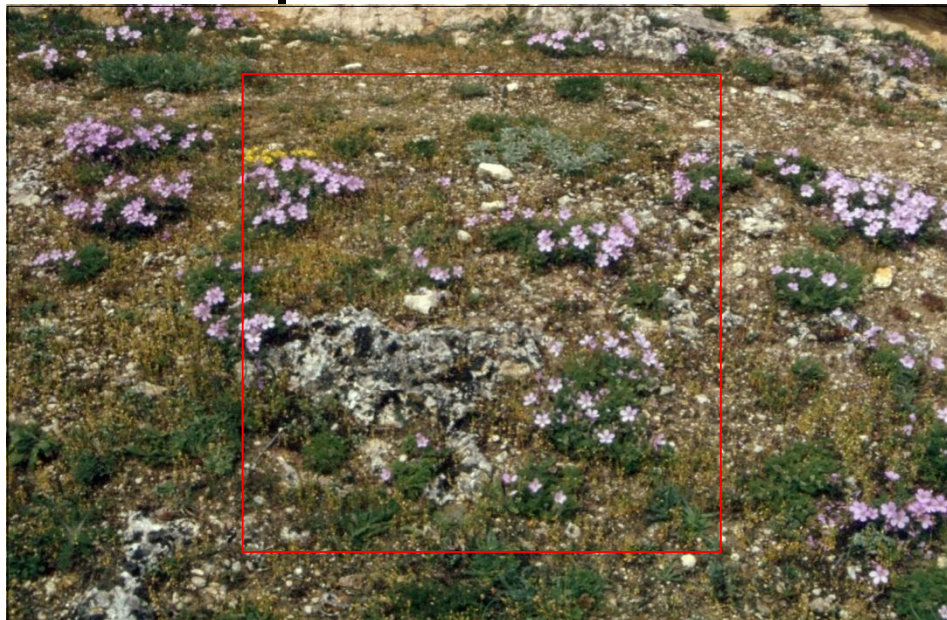
Factores ambientales



Factores ambientales

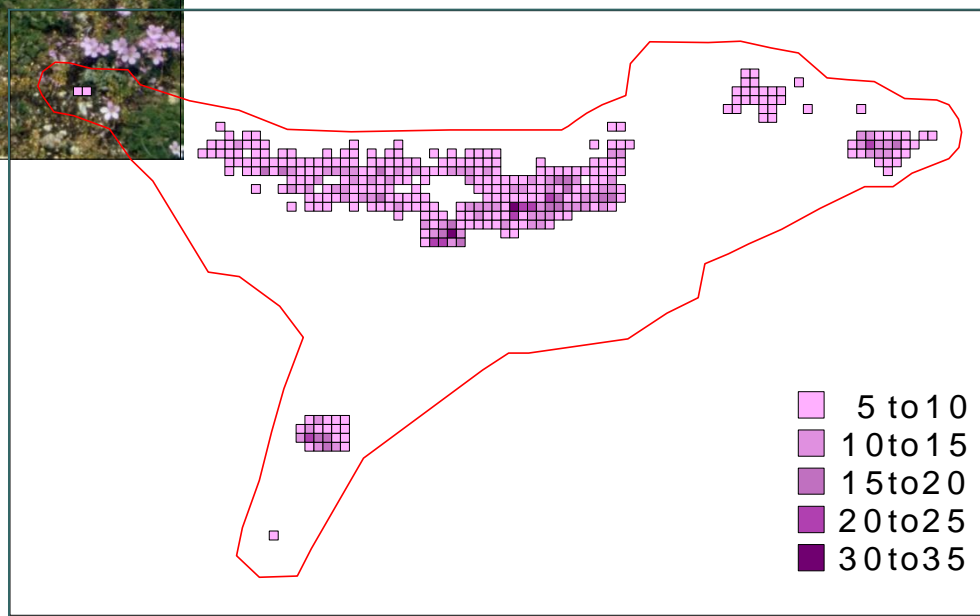


Factores ambientales



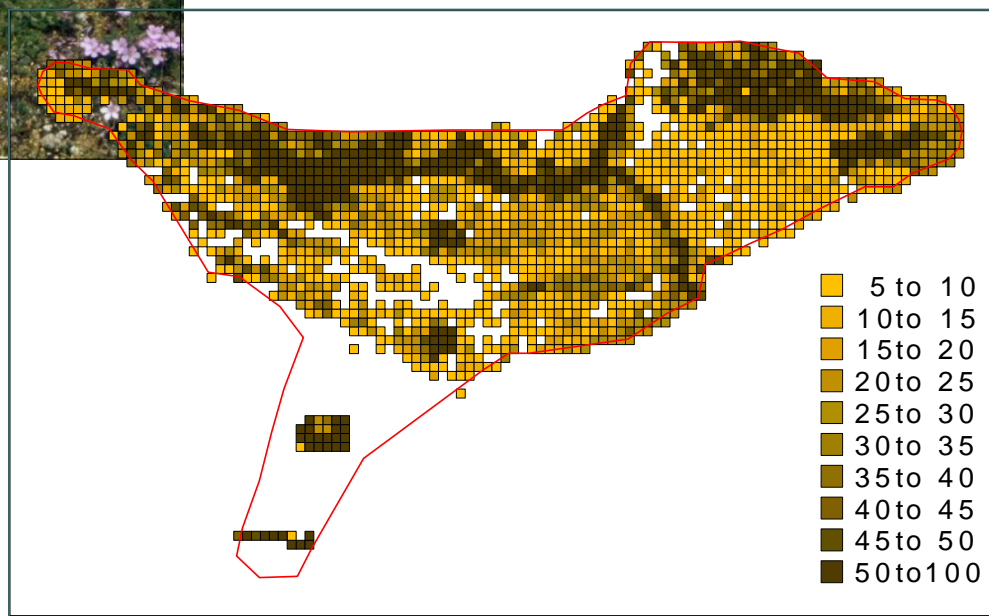
Factores ambientales

✓ Cobertura *E. paularense* (%)



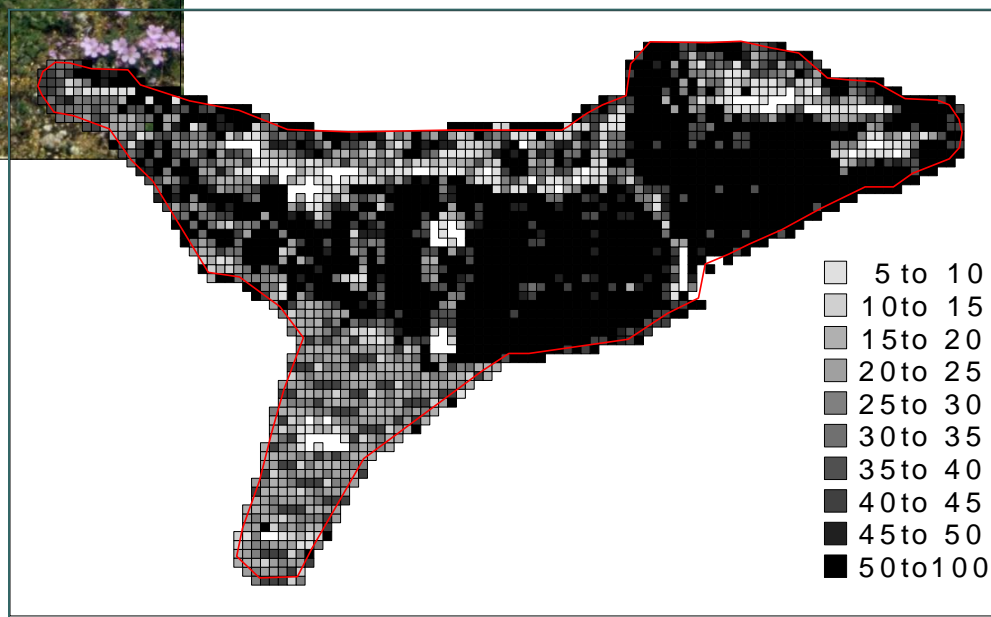
Factores ambientales

✓ Cobertura roca (%)
[%cvrock]



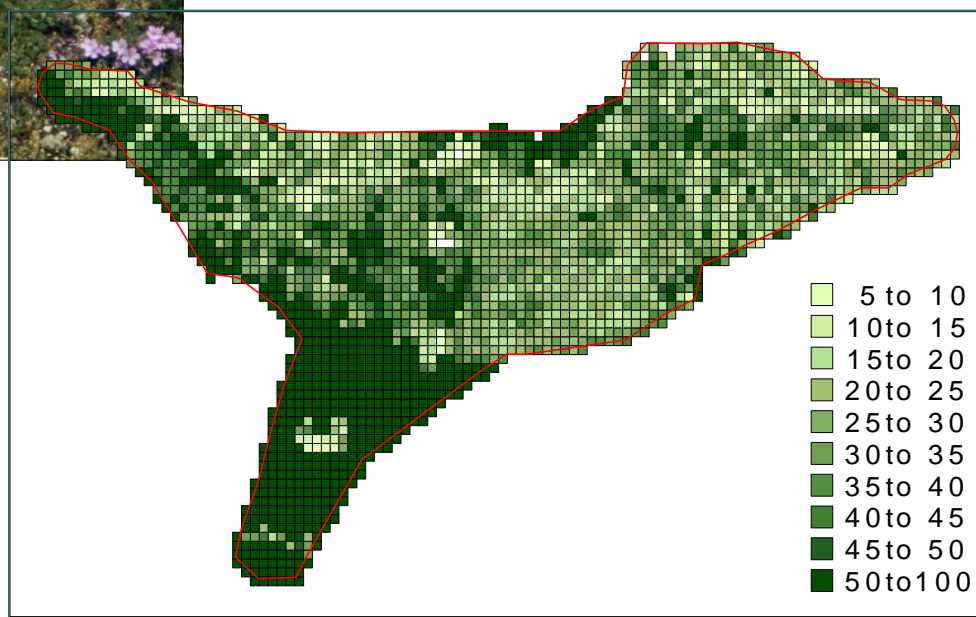
Factores ambientales

✓ Cobertura suelo desnudo



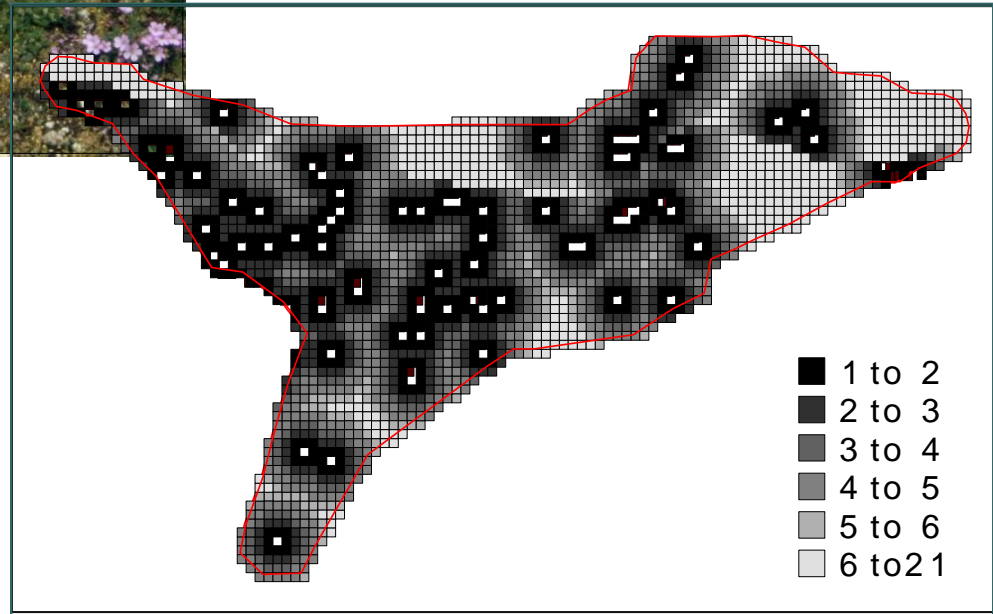
Factores ambientales

✓ Cobertura otras especies (%)
[%cvpern]



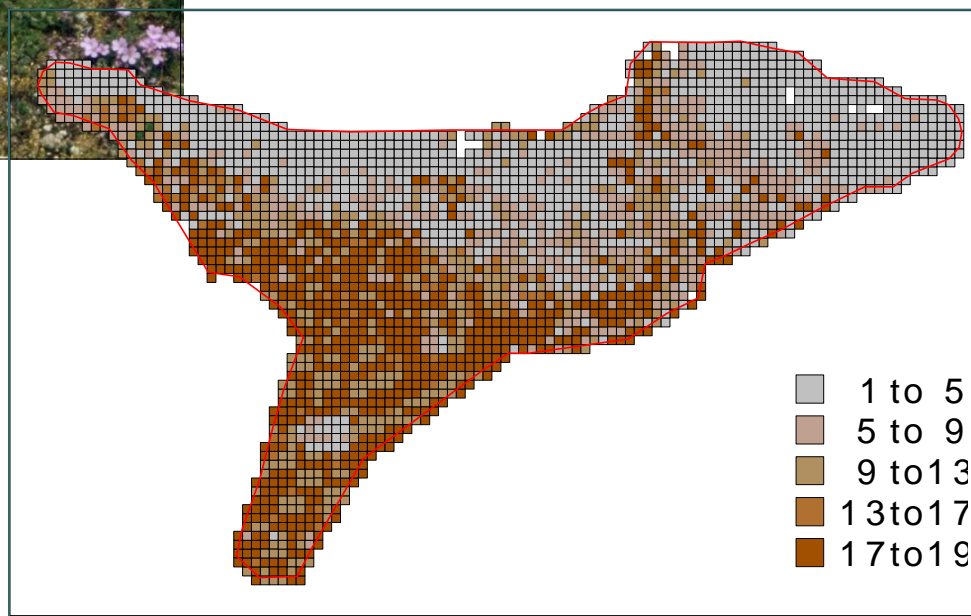
Factores ambientales

- ✓ No. de hormigueros
- ✓ Distancia a hormigueros (m)
[tran_ant]



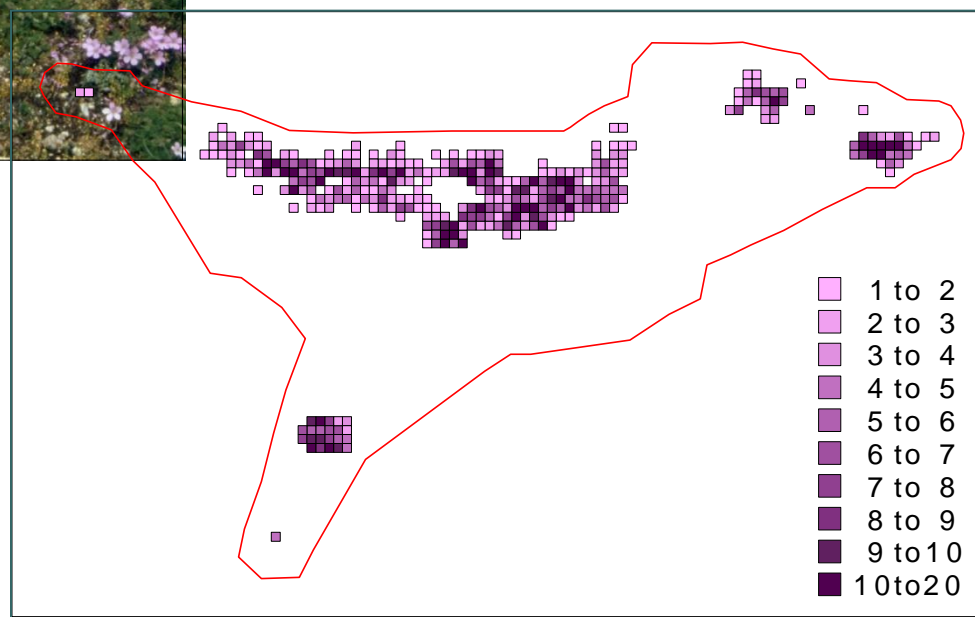
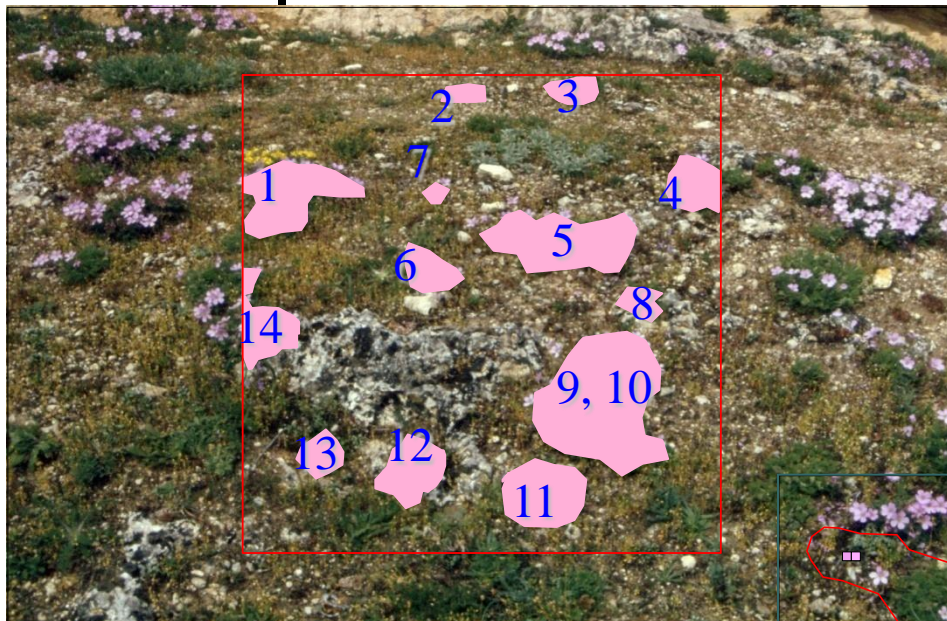
Factores ambientales

✓ Profundidad del suelo (cm)
[soil_dep]



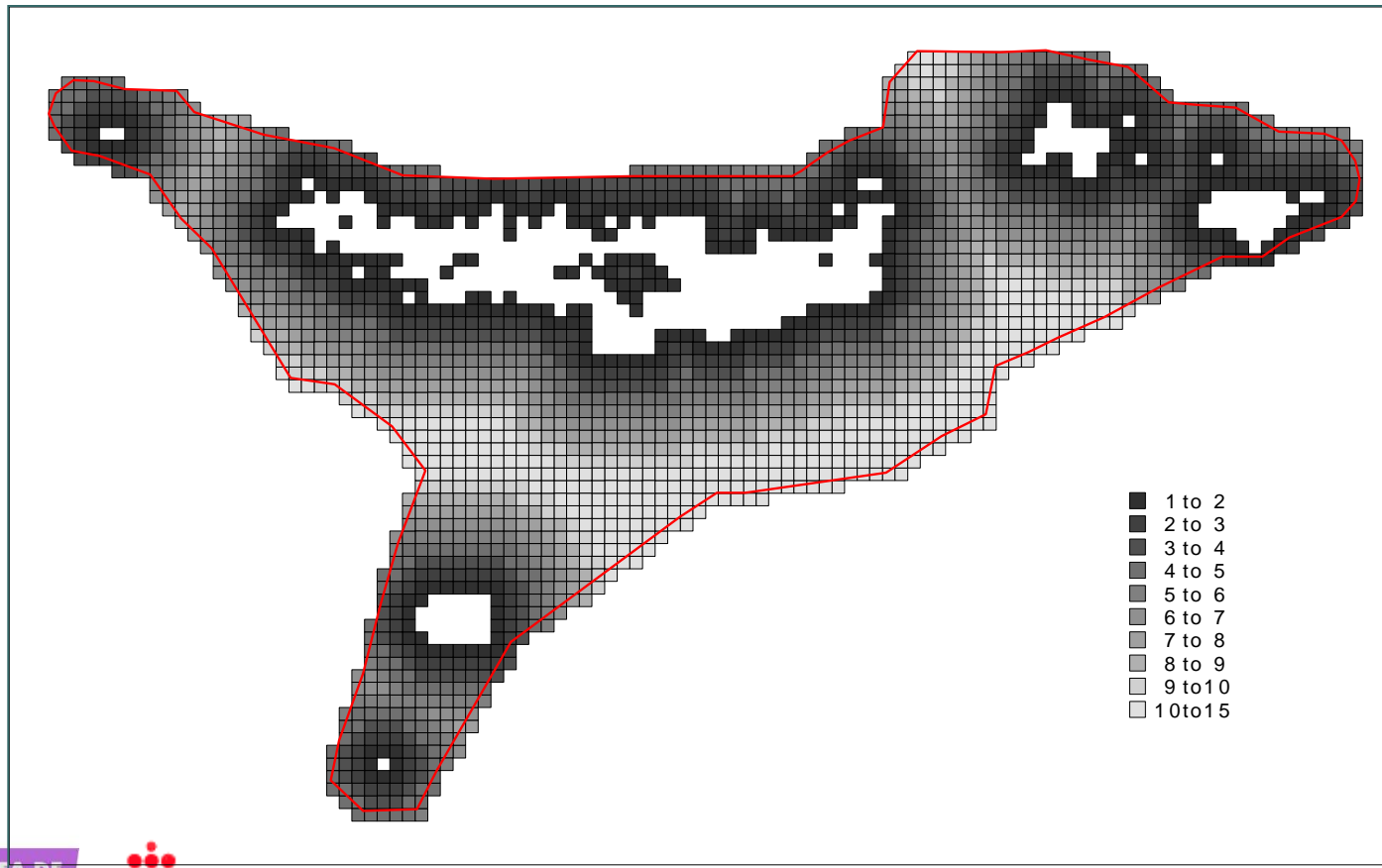
Factores ambientales

✓Nº de plantas de *E. paularense*

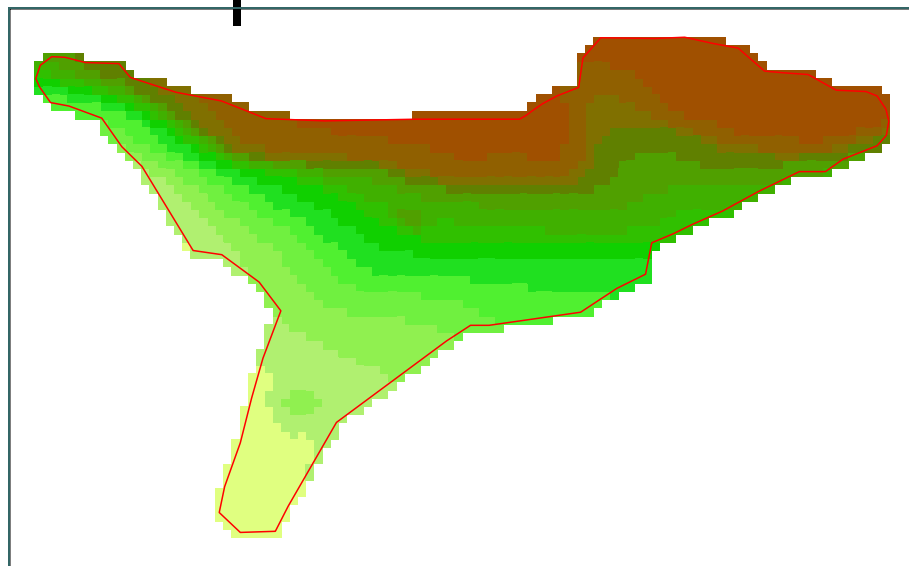


Factores ambientales

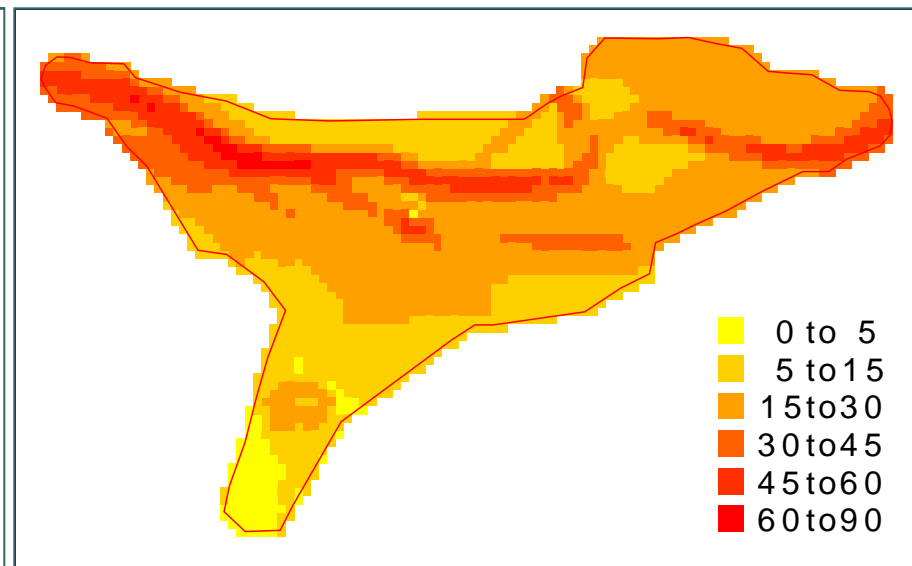
✓ Distancia de *E. paularense* (m)
[erod_dis]



Factores ambientales



✓ Altimetría (m)
[tran_alt]



✓ Pendiente (°)
[slope]

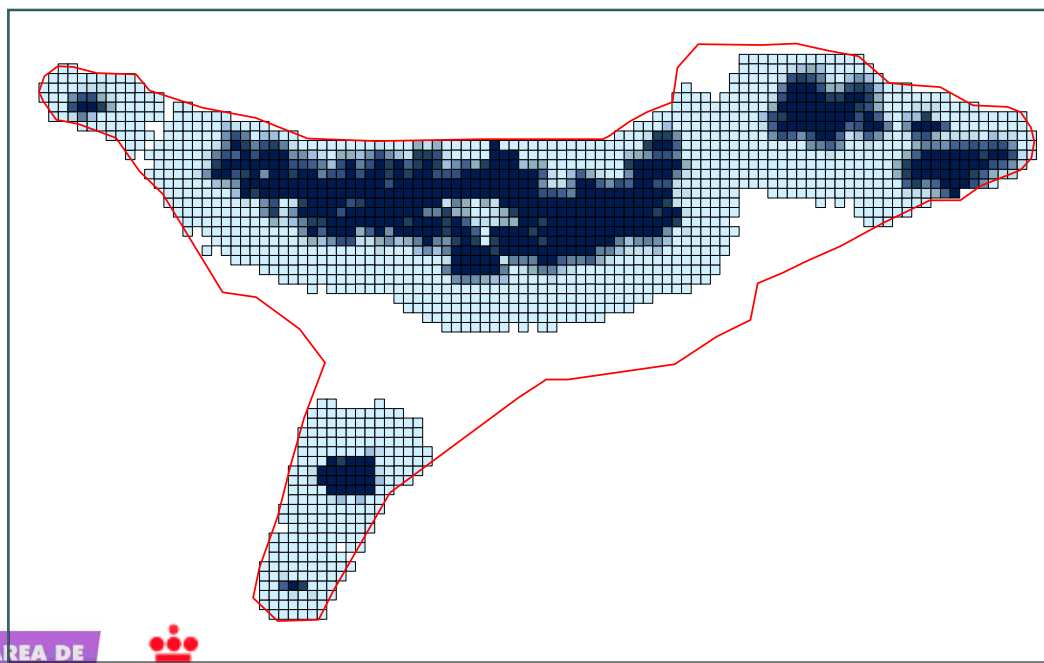
1,080 to 1,082
1,082 to 1,083
1,083 to 1,084
1,084 to 1,085
1,085 to 1,086
1,086 to 1,087
1,087 to 1,088
1,088 to 1,089
1,089 to 1,090
1,090 to 1,091
1,091 to 1,092
1,092 to 1,093
1,093 to 1,094
1,094 to 1,095
1,095 to 1,100

0 to 5
5 to 15
15 to 30
30 to 45
45 to 60
60 to 90

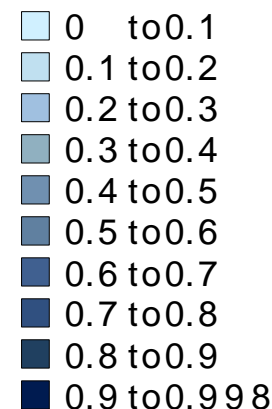
Factores ambientales

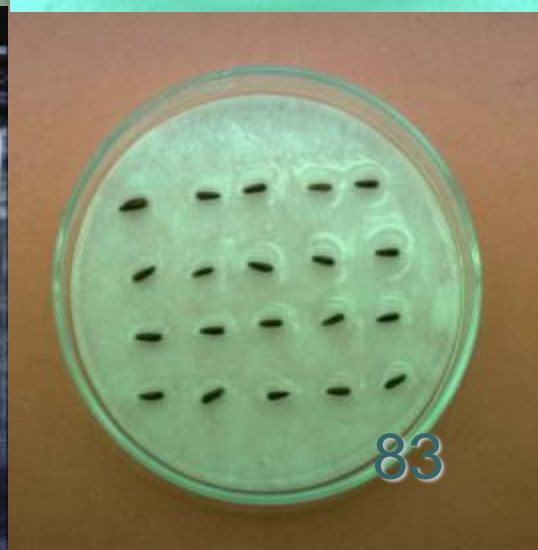
$$y = 2.7271 - 0.0170 * [\%cvpern] + 0.0177 * [\%cvrock] - 0.1251 * [soil_dep] - 2.4453 * [erod_dis] - 0.6022 * [tran_ant] + 0.0298 * [tran_alt] - 0.0117 * [slope]$$

$$p = (\exp(y) / (\exp(y) + 1))$$



regresión logística







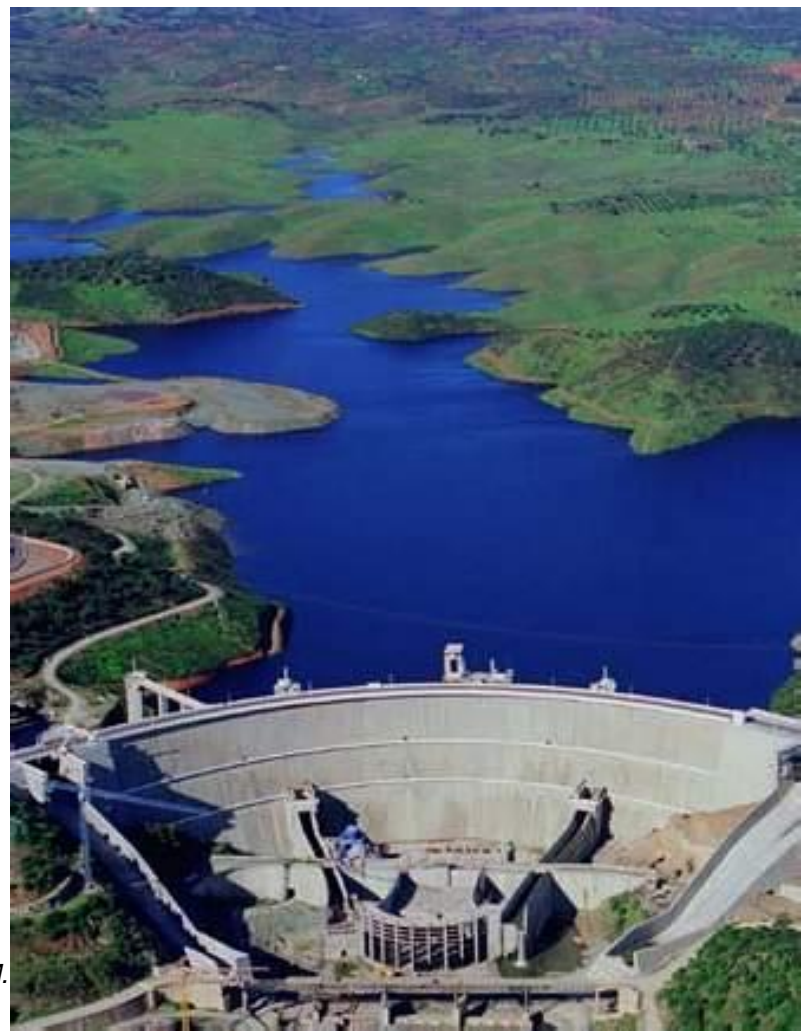
Embalse de Alqueva

- Calendario de obras:
 - 1998 inicio obra
 - 2000 desmatación
 - 2001 cierre compuertas
- Localización
 - Rios Guadiana y Degebe, Baixo Alentejo
- Extensión del embalse
 - 83 Km
- Superficie
 - 250 Km²
- Perímetro
 - Cerca de 1000 km



Embalse de Alqueva

- Almacenamiento
 - 4150 hectómetros³
- Objetivos
 - reserva de agua para abastecimiento público
 - energía eléctrica
 - para fines turísticos
 - para fines agrícolas (112000 Ha.)
- Nivel de explotación
 - Cota 152
- Valor total
 - 1800 millones de € hasta 2025





Medidas de mitigación

Monitorización de especies prioritarias en la zona del embalse de Alqueva (1999-2003)

- *Linaria ricardoi* Cout.
- *Marsilea batardae* Launert
- *Narcissus cavanillesii* A. Barra & G. López
- *Picris willkommii* (Schultz. Bip.) Nyman
- *Salix salvifolia* Brot. subsp. *australis* Franco

Narcissus cavanillesii A. Barra & G. López



- Geófito de floración otoñal.
- Frecuente en el SW de España y raro en Portugal, Argelia y Marruecos.
- Taxón incluido en los Anexos II y IV de la Directiva Comunitaria Hábitats (92/43/CEE).



Narcissus cavanillesii A. Barra & G. López

¿Cuál era su situación en Portugal en 2000?

- Sólo se conocía una localidad en el país
- No se disponía de censo ni estructura poblacional
- En ese momento no se podía determinar el estatuto de amenaza por carecer de la información necesaria. Sólo se ajustaba a la categoría de Datos Insuficientes (DD), (IUCN, 2001)



Narcissus cavanillesii A. Barra & G. López

Resultados estudios preliminares

- Se encontró una nueva localidad en Portugal
- Se obtuvieron los primeros censos de individuos: ca. 12.000 de los cuales un 10% son reproductores
- Se analizó la extensión de presencia y área de ocupación: se encuentran agrupados en sólo 14 núcleos de muy reducida área (1-30 m²)

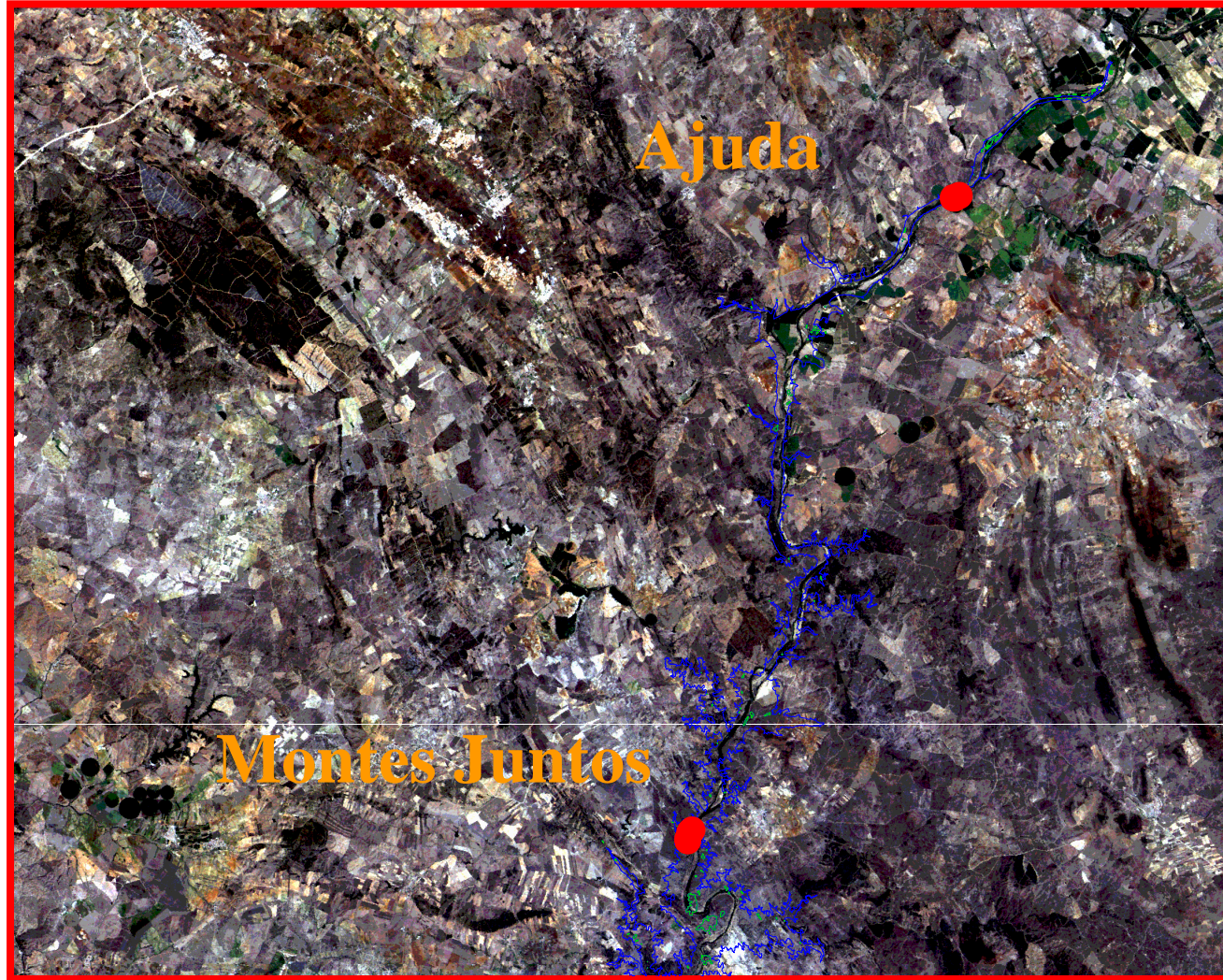
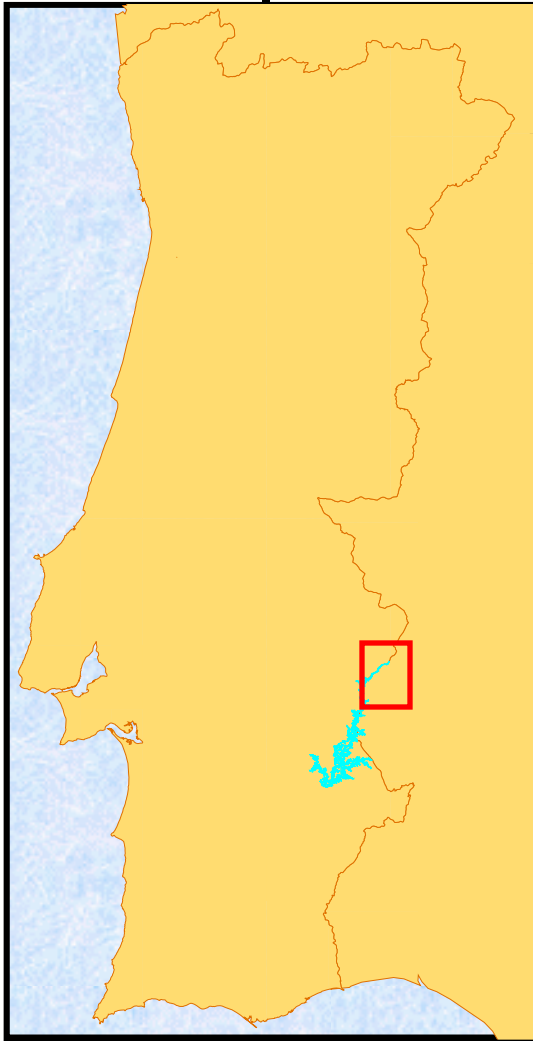


Narcissus cavanillesii A. Barra & G. López

Resultados estudios preliminares

- 80% de los núcleos conocidos desaparecen si no se aplican medidas minimizadoras
- En Peligro Crítico (CR) según los criterios: A2 + 3c + 4; B1ab (ii, iii, iv)+ 2ab (ii ,iii ,iv), (UICN, 2001)

Narcissus cavanillesii A. Barra & G. López





Narcissus cavanillesii A. Barra & G. López

Se consideraron necesarias nuevas medidas mitigadoras específicamente dirigidas a *N. cavanillesii*

Se encarga al Jardim Botânico da Universidade de Lisboa la implementación de estas medidas:

“Propuesta de conservación de Narcissus cavanillesii como medida de mitigación de la construcción del embalse del Alqueva”

Período: 2000-2004



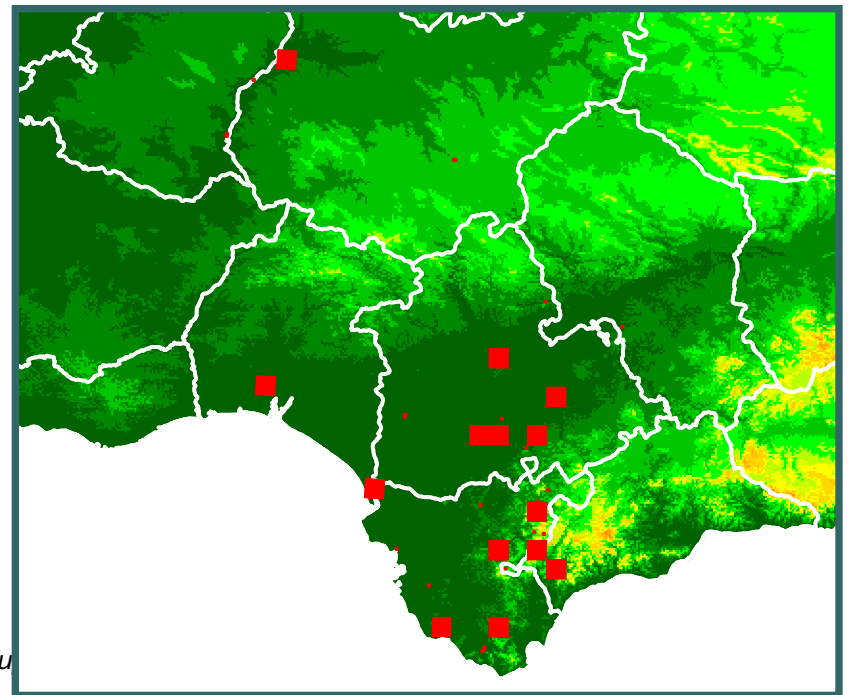
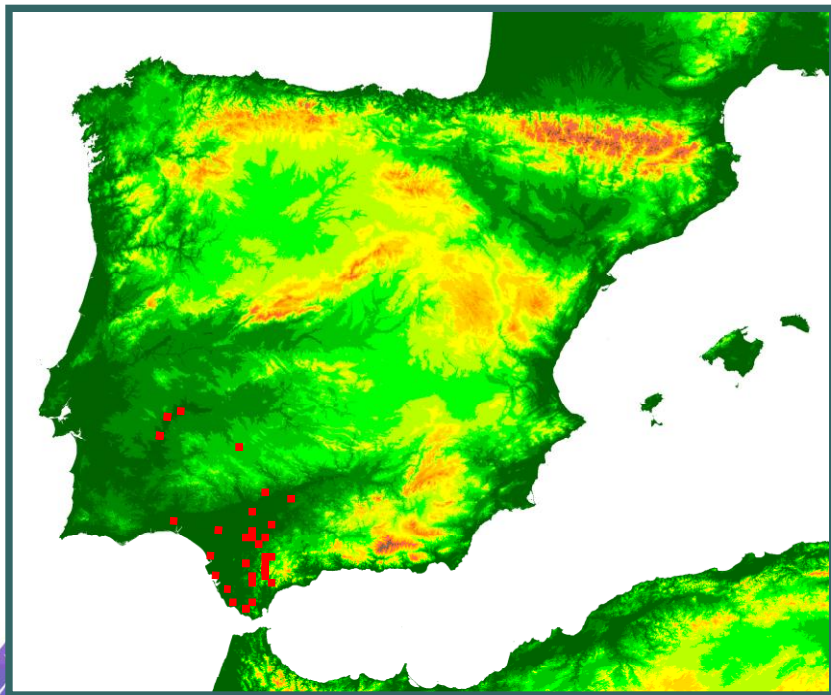
Narcissus cavanillesii A. Barra & G. López

“Baseline information”

1. Cartografía detallada de las poblaciones e individuos
2. Estudios fenológicos y reproductivos
3. Estudios de biología reproductiva
4. Estudios referentes a vectores de polinización y dispersión
5. Caracterización genética de las poblaciones
6. Prospección de otras localidades

Área de distribución

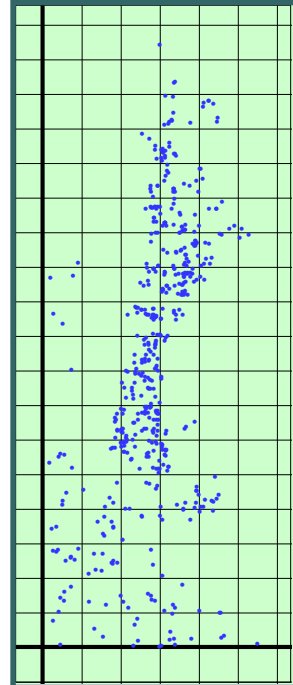
Basándonos en datos de herbario y bibliográficos



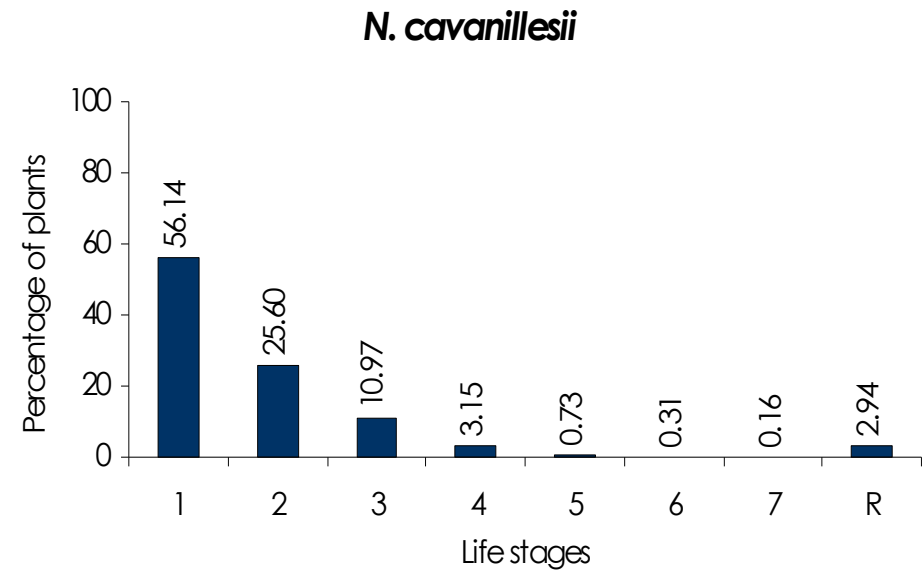
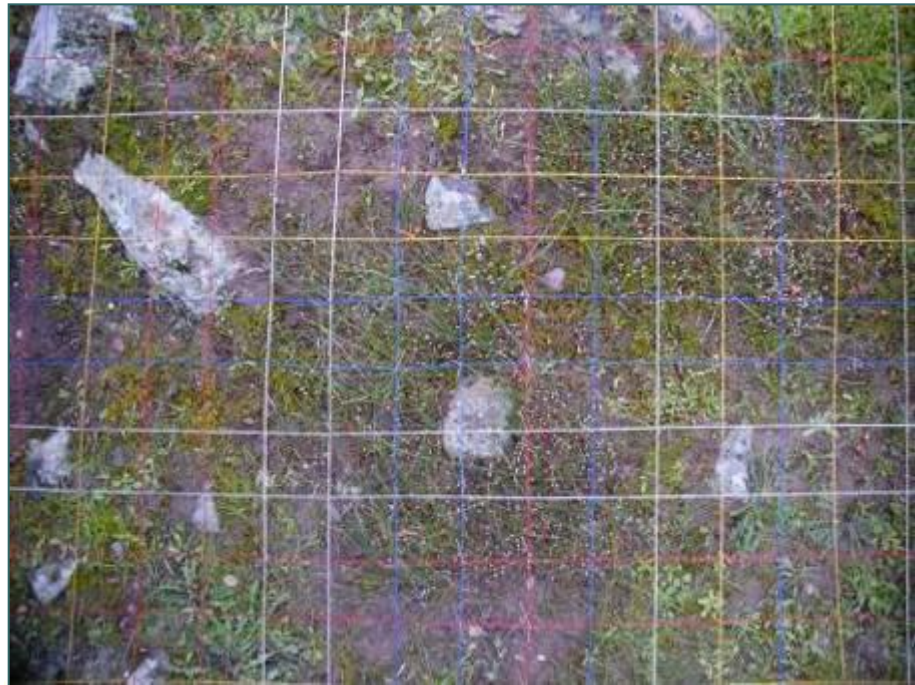
recu

Estructura espacial

Posición relativa de los núcleos y de los individuos



Estructura demográfica



Fenología de floración y fructificación

Duración, intensidad y sincronía



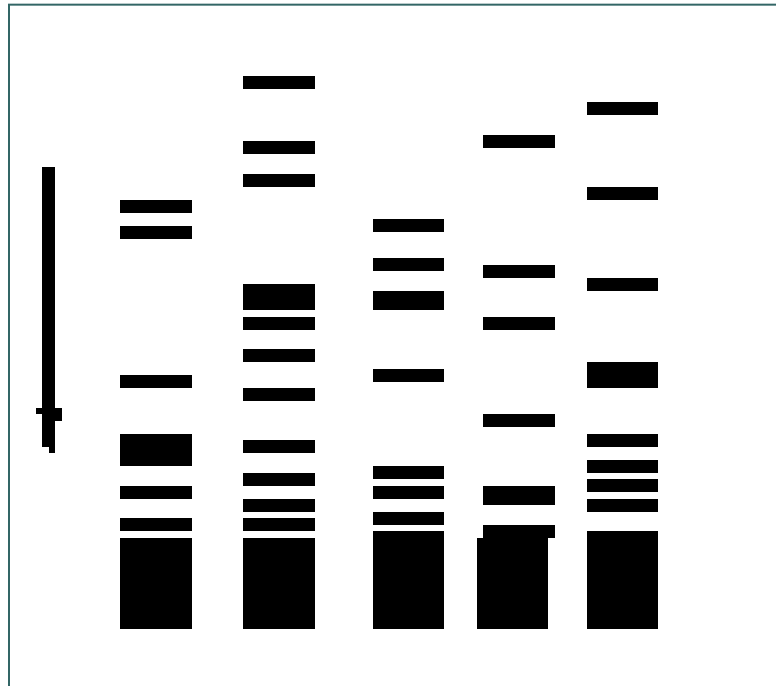
Sistema de cruzamiento

Se efectuaron polinizaciones controladas para determinar el sistema de cruzamiento.



Estructura genética

Caracterización molecular mediante RAPD e ISSR para evaluar la estructura de la diversidad genética y establecer relaciones entre las poblaciones



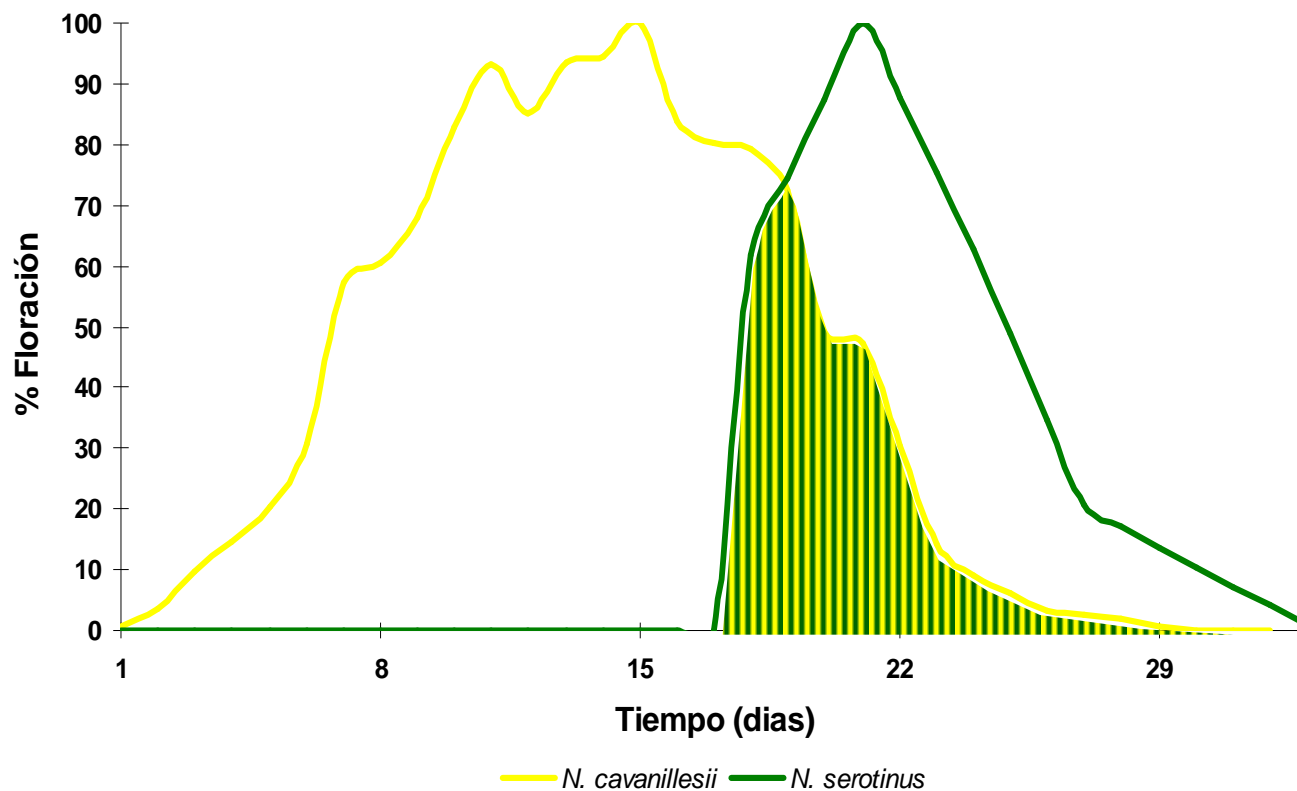
COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Identificación de las especies acompañantes



n. J.

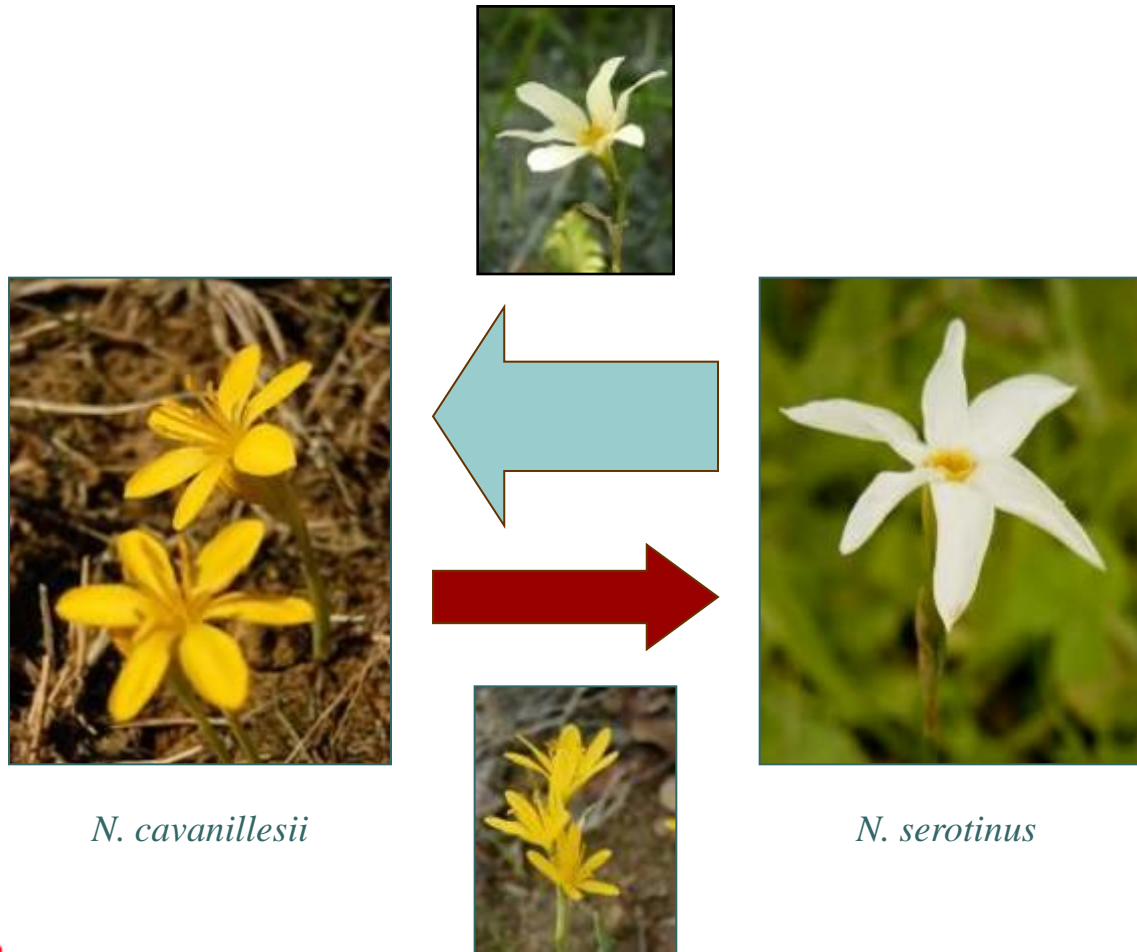
Fenología de floración



— *N. cavanillesii* — *N. serotinus*

Hibridación interespecífica

Tasas de formación de híbridos



Visitantes florales

Identificación de los insectos visitantes y
caracterización del patrón las visitas

Lepidoptera



Hymenoptera

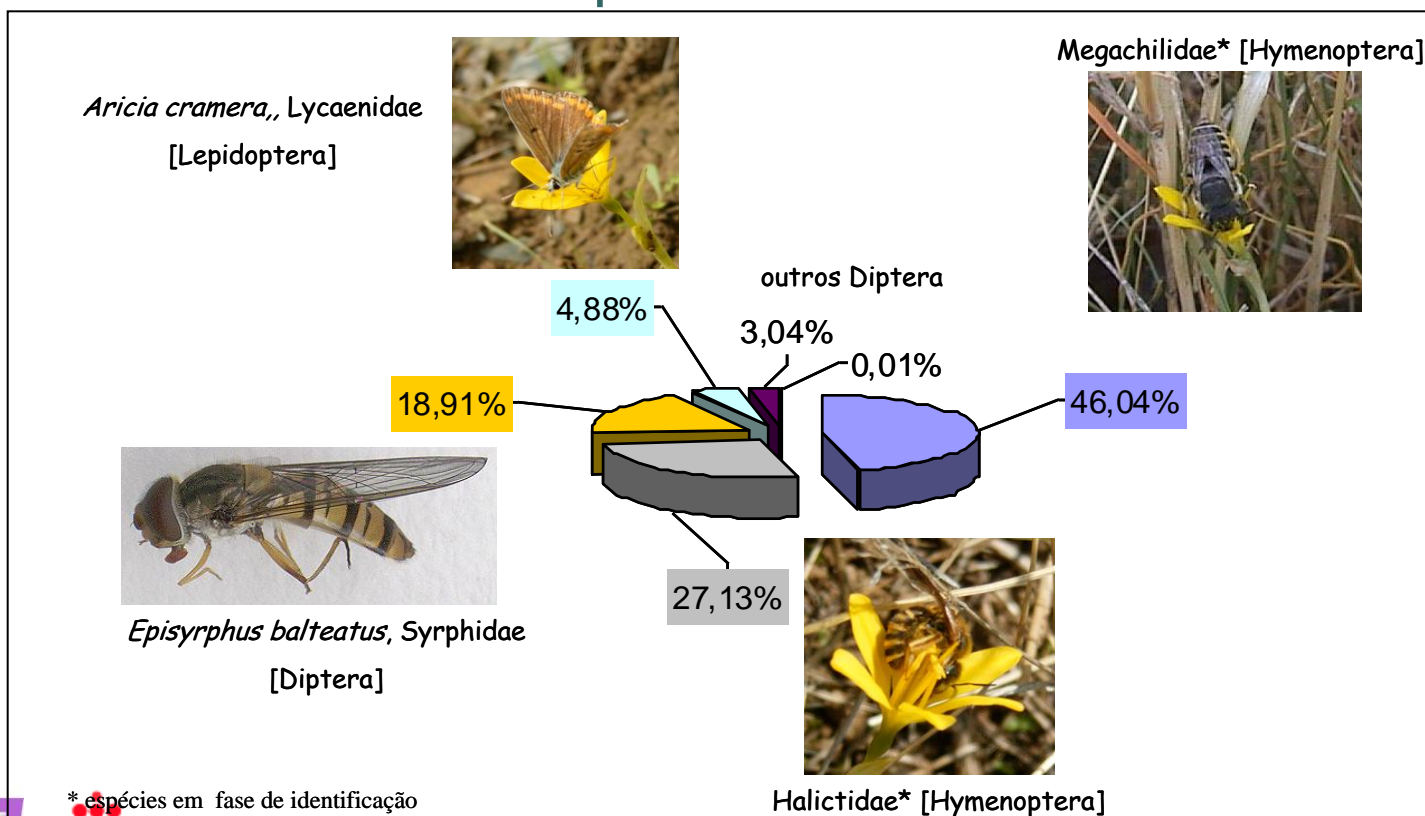


Diptera



Visitantes florales

Identificación de los insectos visitantes y caracterización del patrón las visitas



Herbivorismo y depredación

Identificación de los principales herbívoros y depredadores en las diferentes fases de la planta

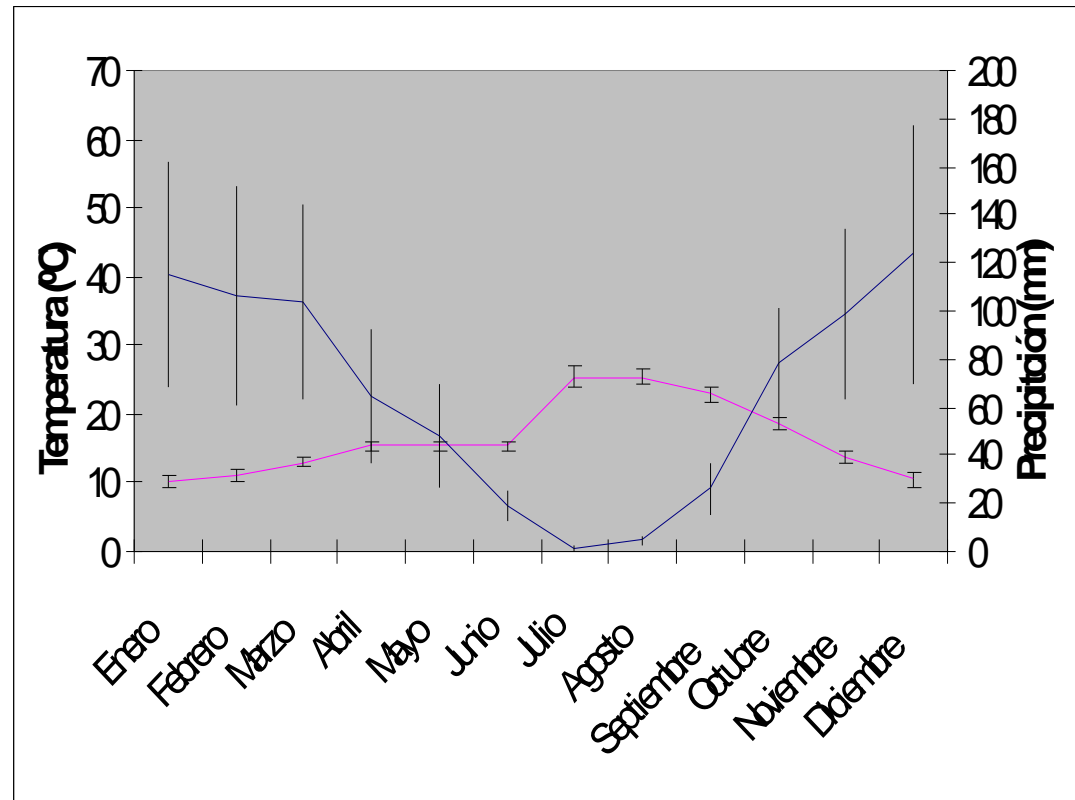
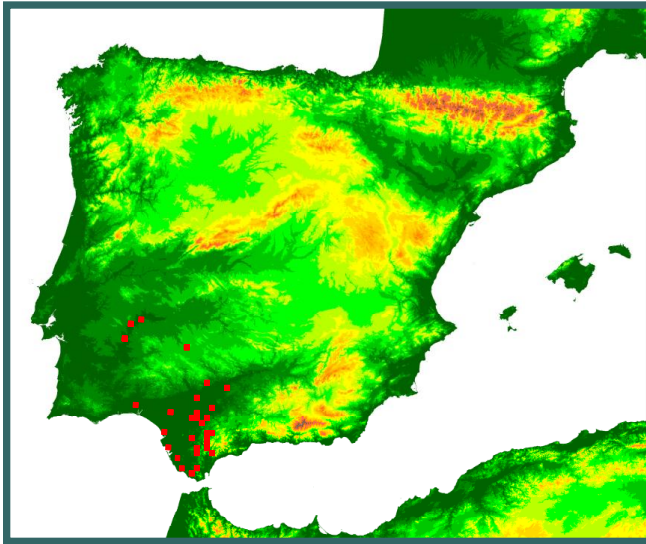






Rango ecológico

Analizar los requerimientos de la especie



Rango ecológico

Determinar el rango ecológico disponible

